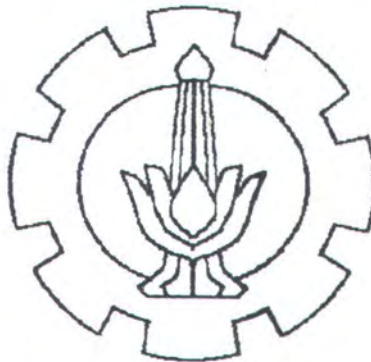


TUGAS AKHIR (NA 1701)

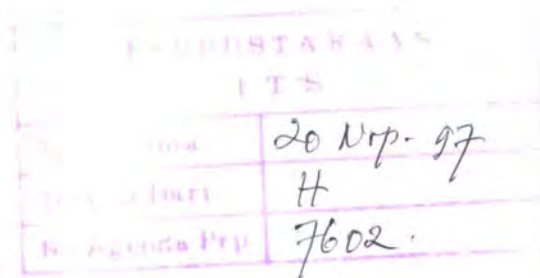
PROGRAM PERHITUNGAN DISTRIBUSI BEBAN PADA FLOATING DOCK PARE-PARE UNTUK MENGHITUNG DEFLEKSI DAN TRIM

RSPe
623.83
Rus
p-1
1997



Disusun Oleh :

YANI RUSIHADI
NRP. 4194100057



JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1997



LEMBAR PENGESAHAN

PROGRAM PERHITUNGAN DISTRIBUSI BEBAN PADA FLOATING DOCK PARE-PARE UNTUK MENGHITUNG DEFLEKSI DAN TRIM

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Ir. P. Eko Panunggal, P.hd.
NIP. 130.86963



LEMBAR PENGESAHAN

SETELAH DIREVISI

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and strokes, likely representing the name 'Eko Panunggal'.

Ir. P. Eko Panunggal, P.hd.
NIP. 130286963



JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

No. : 162 /PT12.FTK2/M/199 6

Nama Mahasiswa : Yani Rusihadi
Nomor Pokok : 4194100057
Tanggal diberikan tugas : 02 Oktober 1996
Tanggal selesai tugas : 01 Maret 1997
Dosen Pembimbing : 1. Ir. P. Eko Panunggal, Ph.D
2. Ir. P. Andrianto

Uraian / judul tugas akhir yang diberikan :

PROGRAM PERHITUNGAN DISTRIBUSI BEBAN PADA FLOATING DOCK PARE-PARE UNTUK
MENCITTUNG DEFLEKSI DAN TRIM.



Surabaya, 02 Oktober

199 6

Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS

Ketua,

Tembusan :

1. Yth. Dekan FTK-ITS.
2. Yth. Dosen Pembimbing.
3. Arsip.

Ir. Koestowo Sastro Mijono.

NIP. 130 687 430.

LEMBAR PENGESAHAN

PROGRAM PERHITUNGAN DISTRIBUSI BEBAN PADA FLOATING DOCK PARE-PARE UNTUK MENGHITUNG DEFLEKSI DAN TRIM

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing**

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'P. Andrianto', with a long horizontal stroke extending to the left.

Ir. P. Andrianto.

LEMBAR PENGESAHAN
SETELAH DIREVISI

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing**



12/8-97

Ir. P. Andrianto.

ABSTRAK

Dalam suatu konstruksi yang mengalami beban lateral akan mengakibatkan terjadinya defleksi, bila defleksi ini melebihi batas yang diijinkan, maka akan terjadi sesuatu yang tidak kita inginkan, begitu pula defleksi pada floating dock dan kapal. Tetapi semua itu tentunya dapat kita estimasi secara matematis berapa defleksi yang terjadi akibat beban-beban tersebut.

Dalam perhitungan beban floating dock dan kapal yang naik dock, bila defleksi keel block diabaikan (dianggap sama) maka defleksi floating dock dan kapal akan sama (selisih = 0), Bila beban : berat dock, ballast, bouyancy, dan berat kapal kita anggap tetap maka reaksi keel block akan menjadi variabel untuk mendapatkan w dock dan w kapal sama. Salah satu cara untuk mendapatkan harga reaksi keel block adalah dengan menggunakan metode Newton Raphsop denga variabel banyak, dengan methode ini kita akan mendapatkan hasil reaksi keel block, sehingga kita dapat menentukan besarnya defleksi yang terjadi pada rekasi keel block.

Dari hasil perhitungan defleksi maximum sekitar 7mm, harga ini jauh dari harga yang diijinkan pada defleksi floating dock yaitu 100 mm, sehingga kerusakan akibat defleksi adalah sangat kecil.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, Tugas akhir ini dapat terselesaikan juga, walaupun harus melalui berbagai rintangan yang cukup berat. Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat dalam mencapai gelar sarjana di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Bersama ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

- Bapak Ir. P. Eko Panunggal, Ph.D. sebagai dosen pembimbing dalam Tugas Akhir ini.
- Bapak Ir. Soebandiyoso selaku kepala Department Kapal, Dok dan Faslatpung di PT. PAL Indonesia.
- Bapak Ir. P. Andrianto
- Bapak Ir. Koestowo selaku ketua jurusan Teknik Perkapalan.
- Bapak Digul Siswanto MsC. selaku dekan Fakultas teknologi Kelautan.
- Saudara Rofiq angkatan '91 yang banyak membantu belajar program.
- Rekan-rekan jurusan teknik perkapalan.
- Istri dan anakku yang telah memberikan dorongan secara moril dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, tetapi masih sangat banyak kekurangan yang terjadi, penulis berharap saran dan kritik dari pembaca untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini.

Surabaya, 29 Juli 1997.

Penulis,

Yani Rusihadi
NRP. 4194100057

DAFTAR ISI

| | |
|-----------------------------------|------|
| Halaman Judul | i |
| Surat Keputusan Tugas Akhir | ii |
| Lembar Pengesahan | iii |
| Kata Pengantar | vi |
| Daftar Isi | vii |
| Abstrak | viii |

BAB I. PENDAHULUAN

| | |
|-------------------------------|---|
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah | 1 |
| 1.3. Tujuan Dan Manfaat | 2 |
| 1.4. Batasan Masalah. | 2 |
| 1.5. Metodologi | 3 |

BAB II. DASAR TEORI

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Balok elastis | 5 |
| 2.2. Pemodelan | 17 |
| 2.2.1. Model Kapal | 17 |
| 2.2.2. Model Dock | 17 |
| 2.2.3. Model Gabungan | 18 |
| 2.3. Perhitungan Gaya Lintang, Momen, Slope Dan Defleksi Secara Numerik | 20 |
| 2.4. Methode Newton Raphson | 22 |

BAB III. PEMBUATAN PROGRAM.

| | |
|--------------------------------------------------|----|
| 3.1. Flow Chart Pelaksanaan Newton Raphson | 24 |
| 3.2. Flow Chart Program Utama | 26 |
| 3.3. Flow Chart Koreksi Bouyancy Dock | 28 |
| 3.4. Flow Chart Koreksi Reaksi Keel Block | 29 |
| 3.5. Flow Chart Perhitungan Defleksi | 30 |
| 3.6. Pengujian Program | 32 |
| 3.6.1. Hasil Program | 32 |
| 3.6.2. Pengujian Program | 34 |

BAB IV. PERHITUNGAN DEFLEKSI KAPAL TANKER KURAU DAN FLOATING DOCK

| | |
|----------------------------------------------------|----|
| 4.1. Distribusi Beban | 37 |
| 4.1.1. Distribusi Beban Kapal | 38 |
| 4.1.1.1. Distribusi Berat Kapal | 38 |
| 4.1.1.2. Distribusi Reaksi Keel Block | 39 |
| 4.1.2. Distribusi Beban Floating Dock | 40 |
| 4.1.2.1. Distribusi Berat Floating Dock | 40 |
| 4.1.2.2. Distribusi Berat Bouyancy | 41 |
| 4.1.2.3. Distribusi Berat Ballast Dock..... | 41 |
| 4.2. Inertia | 42 |
| 4.2.1. Inertia Kapal | 43 |
| 4.2.2. Inertia Dock | 44 |
| 4.3. Koreksi Titik Berat | 44 |
| 4.3.1. Koreksi Titik Berat Reaksi Keel Block | 44 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3.2. Koreksi Titik LCB Dock | 48 |
| 4.4. Perhitungan Defleksi Dock Dan Kapal | 50 |
| 4.4.1. Defleksi Kapal | 50 |
| 4.4.2. Defleksi Floating Dock | 52 |
| 4.4.3. Selesih Defleksi | 53 |
| 4.5. Mencari Harga Reaksi Keel Block Dengan Methode Newton Raphson Untuk Mendapatkan Selisih defleksi yang Kecil. | 53 |
| 4.5.1. Matrik Jacobian | 54 |
| 4.5.2. Harga Reaksi Keel Block Baru..... | 57 |
| 4.5.3. Hasil Defleksi Dan Trim | 58 |
| BAB. V. KESIMPULAN DAN SARAN. | 60 |
| DAFTAR PUSTAKA | 61 |
| LAMPIRAN | 62 |

BAB I

B A B I

P E N D A H U L U A N

1.1. LATAR BELAKANG

Dalam proses pengedokan kapal di floating dock khususnya di PT. PAL Indonesia sampai dengan saat ini belum ada prosedur yang mengatur aspek-aspek teknis secara benar.

Pelaksanaan docking kapal hanya berpedoman pada pengalaman dan prinsip mempertahankan kerataan (dalam hal ini trim/healing) dalam proses pengangkatan kapal (pemompaan).

Seperti diketahui dalam proses pengedokan kapal akan terjadi distribusi beban yang diterima dok berasal dari beban kapal dan gaya bouyancy pada waktu pemompaan maupun sebagai fungsi benda terapung.

Kondisi ini tentunya dapat diperkirakan/direncanakan lebih awal secara matematis tentang :

- a. Estimasi Distribusi beban Floating Dock
- b. Defleksi yang terjadi pada floating dock.

Sehingga dapat ditentukan methode pemompaan yang bertujuan mempertahankan defleksi dok maupun kapal pada batas yang diijinkan.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Agar supaya kapal dan floating dock dapat diketahui harga defleksinya pada saat pengedokan, berapa beban yang bekerja pada floating dan beban yang bekerja pada kapal ?

Kapal yang naik floating dock dibatasi sampai 5000 ton (LWT)

Untuk batasan masalah maka, keel block tidak mengalami defleksi.

1.3. TUJUAN DAN MANFAAT.

- Agar tidak terjadi kerusakan pada floating dock dan kapal yang naik dock.
- Agar dapat mempermudah pekerjaan diatas floating dock, seperti alignment stern tube.
- Sebagai petunjuk operator dock/dock master untuk memudahkan pengoperasian.
- Dock master lebih fleksibel menentukan lokasi kapal di floating dock
- Dapat diketahui berapa defleksi dan trim yang terjadi pada floating dock pada saat kapal naik diatas dock.
- Bisa mengantisipasi lebih awal bila terjadi defleksi yang besar pada floating dock.

1.4. BATASAN MASALAH

Untuk keperluan tersebut diatas kita ambil contoh Floating Dock Pare-Pare.

Pembatasan masalah yang digunakan pada pembahasan ini adalah sebagai berikut :

1. Floating Dock yang digunakan sebagai obyek adalah Dock "PARE-PARE" dengan kapasitas angkat 5000 TLC milik PT. PAL Indonesia.
2. Draft yang akan dianalisa, yaitu pada kondisi kerja (*working condition*).

3. Draft untuk kondisi kerja Floating Dock "PARE-PARE" pada waktu pengedokan kapal adalah : 3.41 m.
4. Berat konsumable pada floating dock diasumsikan tetap yaitu 225 ton, o-G = 17.51 m, KG = 11.4 m
5. Berat kapal untuk pengedokan maximum 5000 ton.
6. Pengumpulan data penunjang dilakukan di PT. PAL Indonesia.
7. Midship kapal pada waktu peletakkan di atas floating dock segaris dengan mid floating dock.
8. Dianggap keel block menyusut sama pada saat dinaiki beban kapal, sehingga pada saat kapal diatas floating dock, defleksi kapal dengan defleksi floating dock harus sama.
9. Kapal yang akan naik dock adalah Tanker Kurau dengan DWT 6500 ton, LWT 2374 ton

1.5. METODOLOGI

Metodologi yang dipakai dalam Tugas Akhir ini adalah :

- Semua program ditulis dalam bahasa Pascal.
- Data yang ada pada floating dock yang berupa berat tiap-tiap item dan titik berat item-item tersebut dijadikan tabel dengan jarak station 5 m, yang awalnya jarak stationnya 2.4 m. Juga dilakukan perhitungan modulus floating dock.

Data floating dock yang dibutuhkan :

- Dimensi Floating Dock.
- Distribusi berat berat floating dock beserta titik beratnya.

- Modulus Floating Dock.

- Jumlah Tanki yang ada serta ukurannya masing-masing.

Data kapal yang akan naik floating dock :

- Modulus kapal.

- Distribusi berat kapal, yang akan diubah jarak station yang bervariasi menjadi jarak station 5 m.

Karena ada batasan masalah bahwa defleksi floating dock dan defleksi kapal sama maka untuk mencari kondisi tersebut dilakukan perhitungan dengan menggunakan perhitungan ¹*Newton Rapshon*. Sedangkan perhitungan beban sampai ke defleksi dilakukan dengan menggunakan tabel seperti yang dilakukan pada tugas perhitungan kekuatan memanjang.

Distribusi beban kapal didapat dari distribusi LWT - distribusi Reaksi keel block.

Sedangkan beban dock didapat dari Distribusi bouyancy - distribusi (reaksi block + ballast dock + LWT dock).

- Distribusi gaya lintang didapat dengan mengintegrasikan distribusi beban, sedang integrasi gaya lintang akan menghasilkan distribusi momen lengkung.

- Distribusi momen inertia didapat dari perhitungan momen inertia melintang pada tiap-tiap/beberapa potongan kemudian di buatkan grafik momen inertia.

- Distribusi slope diperoleh dari integrasi momen lengkung memanjang dibagi momen inertia (EI)

- Distibusi defleksi memanjang diperoleh dari integrasi slope dibagi dengan E, dimana E modulus baja kapal atau dock.

¹ NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING PRACTICE Amir Wadi Al-Khafaj, John and Tooley.

BAB II

BAB II

DASAR TEORI

2.1. TEORI BALOK ELASTIS

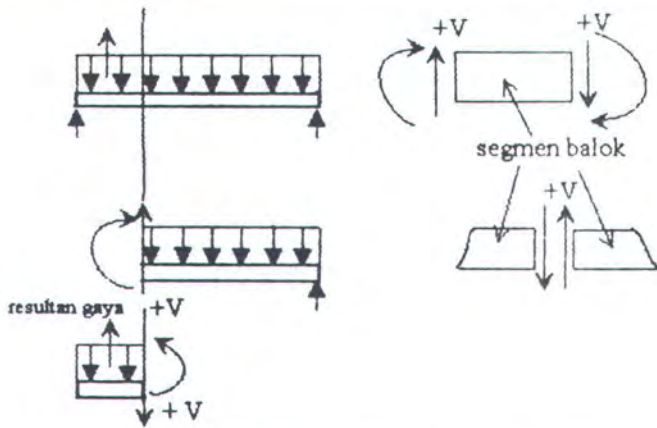
Sebuah balok akan mengalami defleksi dari kedudukannya semula bila berada dibawah pengaruh gaya yang bekerja pada balok tersebut.

Sebagai pendekatan awal untuk menentukan besar dari gaya geser dan momen yang terjadi pada badan kapal diasumsikan bahwa kapal dan floating dock sebagai balok yang elastis. Sedang suatu konstruksi dapat disebut balok jika pada konstruksi tersebut hanya menerima beban yang tegak lurus dengan garis sumbu konstruksi tersebut atau dengan kata lain beban yang bekerja adalah beban lateral. Untuk memenuhi persamaan kompatibilitas diasumsikan bahwa bidang penampang melintang balok akan tetap datar dan tegak lurus dengan sumbu balok setelah deformasi.

2.1.1. Gaya Geser, Momen Lengkung dan Defleksi.

a. Gaya Geser.

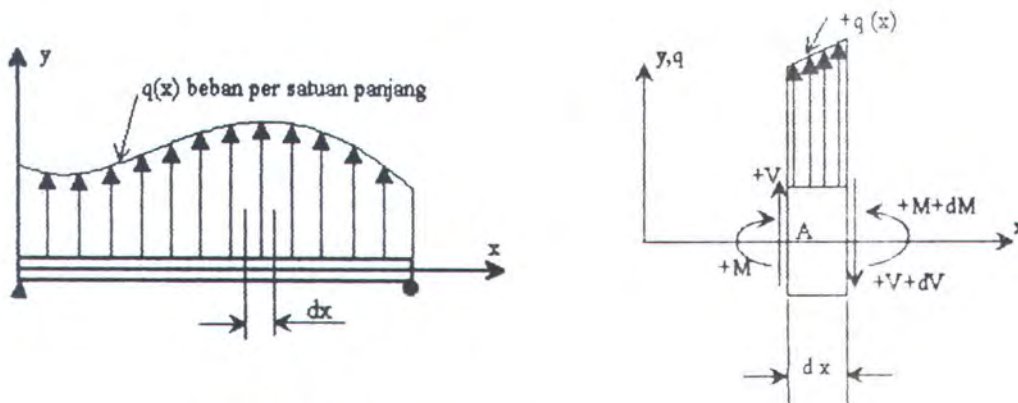
Suatu balok yang mendapat beban merata sebesar " q ", jika balok tersebut dipotong menjadi dua segmen maka untuk mempertahankan potongan balok dalam keseimbangan maka pada potongan harus ada suatu gaya dalam vertikal " V " yang memenuhi persamaan $\Sigma F = 0$. Gaya dalam ini yang disebut sebagai gaya geser yang bekerja tegak lurus pada sumbu balok. Dibawah ini digambarkan gaya vertikal (gaya dalam) sebesar V yang terjadi akibat beban merata " q ". Besar gaya geser ini secara numerik mempunyai nilai yang sama meskipun dihitung dari sebelah kanan segmen atau dari sebelah kiri segmen yaitu sama dengan jumlah aljabar dari semua komponen vertikal gaya-gaya luar yang bekerja pada segmen yang terisolasi.



gambar 2.1 Definisi dari gaya geser positif

Dan gaya geser ini mempunyai besar dan arah (vektor). Suatu gaya geser positif apabila mengarah ke bawah pada sebelah kiri dari pada potongan segmen tersebut atau ke atas disebelah kanan dari potongan yang sama.

Untuk membuat diagram geser dengan metode penjumlahan, maka hubungan-hubungan dasar tertentu haruslah kita buat dahulu.



gambar 2.2. Balok dan elemen yang dipotong oleh dua irisan dg jarak dx

Kita tinjau sebuah elemen, yang dipisahkan tersendiri dari sebuah balok dengan dua buah irisan yang berdampingan yang diambil tegak lurus terhadap sumbu balok sedang jarak antara kedua irisan adalah dx , semua gaya yang bekerja dalam elemen ini terlihat dengan

sikap yang positif. Beban berdistribusi positif q bekerja ke atas dan mengakibatkan bertambahnya gaya geser dari kiri ke kanan. Geser dan momen berubah sepanjang balok hingga terus kepermukaan sebelah kanan dari elemen yang mana besaran-besaran ini ditulis sebagai $V + dV$ dan $M + dM$.

Dengan menuliskan penjumlahan gaya-gaya vertikal dan membuatnya sama dengan nol untuk keseimbangan, maka :

$$V + q \, dx - (V + dV) = 0 \text{ atau } dV/dx = q$$

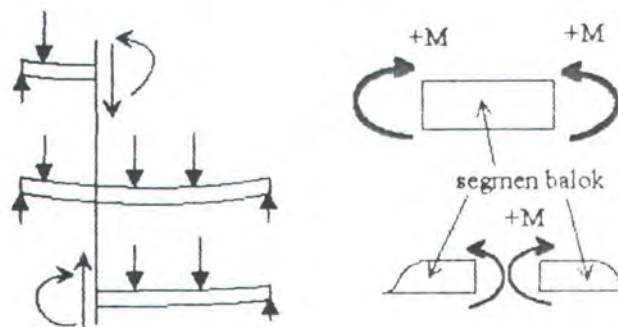
yang berarti bahwa perubahan rata-rata gaya geser sepanjang balok adalah sama dengan gaya terpakai per satuan panjang. Dengan mengubah susunan persamaan serta mengintegrasikan kita peroleh.

$$V = \int_0^x q \, dx + C_1$$

Dengan memberikan batas-batas sehingga dari integral ini, kita melihat bahwa gaya geser pada suatu irisan hanyalah suatu integral (yaitu penjumlahan) dari gaya-gaya vertikal sepanjang balok, dari ujung sebelah kiri balok sampai kepada irisan yang dibicarakan ditambah dengan tetapan integrasi C_1 . Tetapan ini sama dengan gaya geser pada ujung sebelah kiri. Antara dua irisan tertentu dari balok, gaya geser akan berubah sebesar gaya vertikal yang terdapat antara kedua irisan ini. Bila antara kedua irisan tidak terdapat gaya, maka tidak akan terjadi gaya geser. Bila suatu gaya terpusat masuk kedalam penjumlahan tersebut, maka terjadi diskontinuitas atau lompatan dalam harga geser yang terjadi. Meskipun demikian proses penjumlahan kontinyu masih tetap berlaku, karena gaya terpusat dapat dianggap sebagai gaya terdistribusi yang menyebar dalam jarak yang kecil tak berhingga sepanjang balok.

b. Momen Lengkung

Setelah mengetahui besar arti gaya geser selanjutnya akan kita bicarakan besar dari momen lengkung yang terjadi akibat pembebanan. Dalam menghitung momen ini kita harus memenuhi kesetimbangan statis yaitu besar momen perlawanan (internal resisting moment). Besar dari momen ini akan mempunyai besar yang positif jika arahnya ditunjukkan dalam gambar, dan arah yang berlawanan akan mempunyai nilai negatif.



gambar 2.3. Definisi dari momen lentur positif

Kejadian yang terus menerus dari momen-momen seperti pada gambar disepanjang balok menyebabkan balok melengkung kebawah (menyimpan air) yang menghasilkan tekan disebelah atas dan tarik sebelah bawah maka momen lengkung yang demikian diberi tanda positif, sebaliknya momen yang negatif jika balok tersebut melengkung ke atas mempunyai bentuk tahan air.

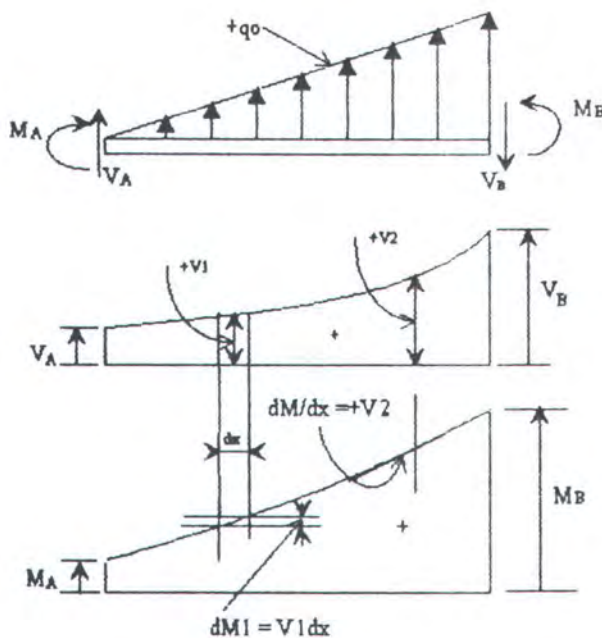
Untuk merumuskan prosedur penjumlahan untuk mendapatkan diagram momen kita tinjau lagi elemen pada gambar di atas. Dengan mengambil momen gaya sekitar titik A dan menyamakan dengan nol untuk keseimbangan, ungkapan V menjadi $dM/dx = V$.

Persamaan ini menyatakan bahwa perubahan rata-rata momen lentur sepanjang balok adalah sama dengan gaya geser. Dengan perantaraannya suatu teori kalkulus dasar,

persamaan $dM/dx = V$ juga menyatakan bahwa momen maksimum atau minimum terjadi pada titik dimana gaya geser adalah nol. Dengan merubah susunan persamaan serta mengintegrasikannya diperoleh :

$$M = \int_0^x V dx + C_2$$

Arti dari suku $V dx$ diperlihatkan secara grafis dengan daerah-daerah gelap pada diagram geser. Penjumlahan daerah-daerah ini antara irisan-irisan yang tertentu dalam balok terletak di atas rol, ujung pasak atau bebas, maka momen-momen awal dan batas adalah nol. Bila ujung tersebut jepit, dalam balok statis tertentu, maka momen pada ujung dapat diketahui dari perhitungan gaya reaksi. Bila ujung jepit dari dari balok terdapat disebelah kiri, maka momen ini dengan tanda yang tepat merupakan tetapan integrasi C_2 .



gambar 2.4. Hubungan antara gaya geser dan diagram momen

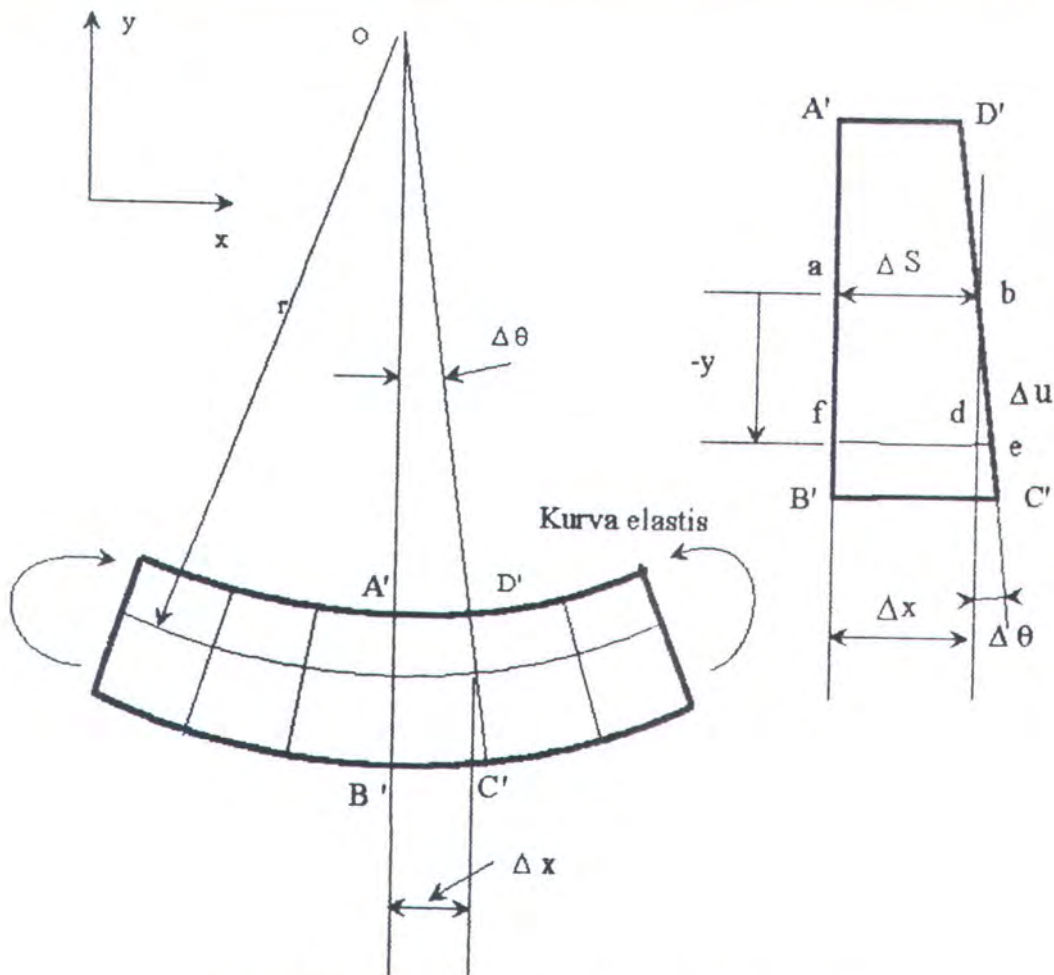
Dengan menjalankan secara kontinyu disepanjang balok dari ujung sebelah kiri serta menjumlahkan daerah-daerah khusus diagram geser dengan memperhatikan tanda dari geseran, maka kita memperoleh diagram momen. Proses penurunan diagram momen dari

diagram geser dengan penjumlahan betul-betul sama dengan yang kita lakukan sebelum ini dari pembebanan menjadi diagram geser. Perubahan momen dalam sebuah segmen balok yang diketahui adalah sama dengan luas daerah diagram geser yang bersangkutan. Secara kualitatif bentuk diagram momen dengan mudah dapat dibuat dari kemiringan pada beberapa titik yang dipilih disepanjang balok.

Dalam diagram momen lentur yang diperoleh dengan penjumlahan, pada ujung sebelah kanan balok, syarat-syarat akhir momen haruslah dipenuhi. Bila ujung tersebut adalah bebas atau diberi pasak, maka jumlah yang dihitung haruslah sama dengan nol. Bila ujung tersebut dipasang tetap, momen ujung yang dihitung dengan penjumlahan adalah sama dengan yang kita hitung mula-mula untuk gaya reaksi. Ini merupakan "syarat-syarat batas" dan selalu harus dipenuhi.

c. Defleksi Balok.

Untuk mengembangkan teori defleksi balok, kita harus meninjau geometri atau kinematika dari deformasi sebuah elemen dari balok. Kinematika dasar yang menghipotesa bahwa irisan-irisan yang berbentuk bidang datar akan tetap merupakan bidang datar selama berdeformasi, akan merupakan dasar dari teori ini. Pekerjaan mengabaikan deformasi geser dari balok. Untunglah defleksi yang disebabkan oleh gaya geser biasanya sangat kecil. Sebuah segmen yang semula balok lurus diperlihatkan dalam keadaan berdeformasi.



gambar 2.5. Deformasi segmen balok dalam lenturan

Sebuah segmen yang semula balok lurus diperlihatkan dalam keadaan deformasi. Sumbu defleksi dari balok tersebut, yaitu kurva elastis, terlihat melintur menjadi radius ρ . Pusat kurva O untuk radius setiap elemen dapat diperoleh dengan memperluas perpotongan setiap dua irisan yang berdekatan seperti $A'B'C'D'$. Untuk yang sekarang kita mengandaikan bahwa lenturan terjadi sekitar salah satu sumbu utama irisan penampang. Balok yang melentur sudut yang termasuk antara dua irisan antara dua irisan yang berdampingan adalah $\Delta\theta$. Bila jarak y dari permukaan netral kepada serat-serat yang diregangkan yang diukur dengan cara yang biasa sebagai positif mengarah ke atas, maka deformasi Δu dari setiap serat dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\Delta u = -y \Delta \theta$$

Untuk y yang negatif ini menghasilkan perpanjangan yang konsisten dengan deformasi, serat-serat yang terletak pada permukaan netral dari balok yang berdeformasi, sebagai serat ab , tidaklah mengalami regangan sama sekali. Karena itu panjang busur Δs menunjukkan panjang semula dari semua serat yang terdapat antara irisan-irisan $A'B'$ dan $D'C'$. Dengan mengingat hal ini dapat kita membentk hubungan sbb :

$$\lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta s} = -y \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta s} \text{ atau } \frac{du}{ds} = -y \frac{d\theta}{ds}$$

Kita dapat mengenal bahwa du/ds merupakan regangan linear dalam serat balok pada jarak y dari sumbu netral. Jadi $du/ds = \epsilon$.

Suku $d\theta/ds$ dalam persamaan di atas mempunyai arti geometris yang jelas. Dengan bantuan gambar kita melihat bahwa, karena $\Delta s = \rho \Delta \theta$, maka

$$\lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta s} = \frac{d\theta}{ds} = \frac{1}{\rho}$$

Sehingga hubungan dasar antara kurva elastis dan regangan linear sebagai :

$$\frac{1}{\rho} = - \frac{\epsilon}{y}$$

Perlu dicatat bahwa karena tidak ada sifat-sifat bahan yang digunakan untuk menurunkan, maka hubungan ini dapat dipergunakan untuk masalah-masalah elastis maupun tidak.

Karena pada kasus ini $\epsilon = \epsilon_x = \sigma_x / E$ dan $\sigma_x = - My/I$ maka

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$$

Persamaan ini menghubungkan momen lentur M pada irisan yang diketahui dari balok tak elastis yang mempunyai momen inersia I terhadap sumbu netral kepada kurva $1/\rho$ dari kurva elastis.

Dalam koordinat cartesian kurva suatu garis didefinisikan sebagai :

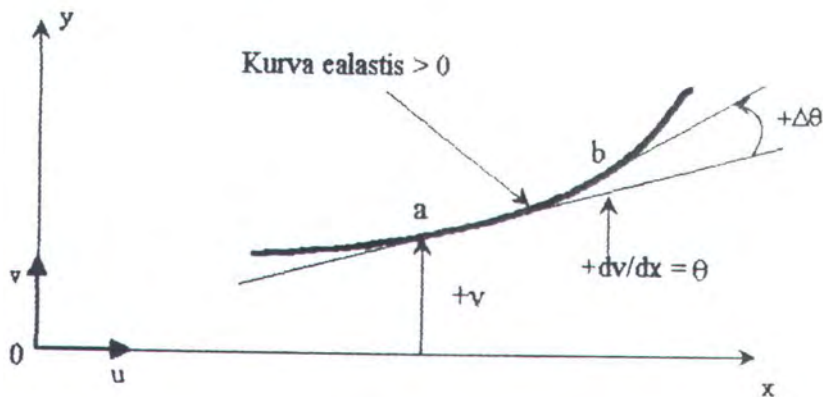
$$\frac{1}{\rho} = \frac{\left(\frac{d^2 v}{dx^2} \right)}{\left[1 + \left(\frac{dv}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}} = \frac{v''}{\left[1 + (v')^2 \right]^{3/2}}$$

Karena kemiringan v' merupakan besaran yang dapat diabaikan bila dibandingkan dengan keseluruhan kesatuan, sehingga persamaan di atas menjadi :

$$\frac{1}{\rho} \approx \frac{d^2 v}{dx^2}$$

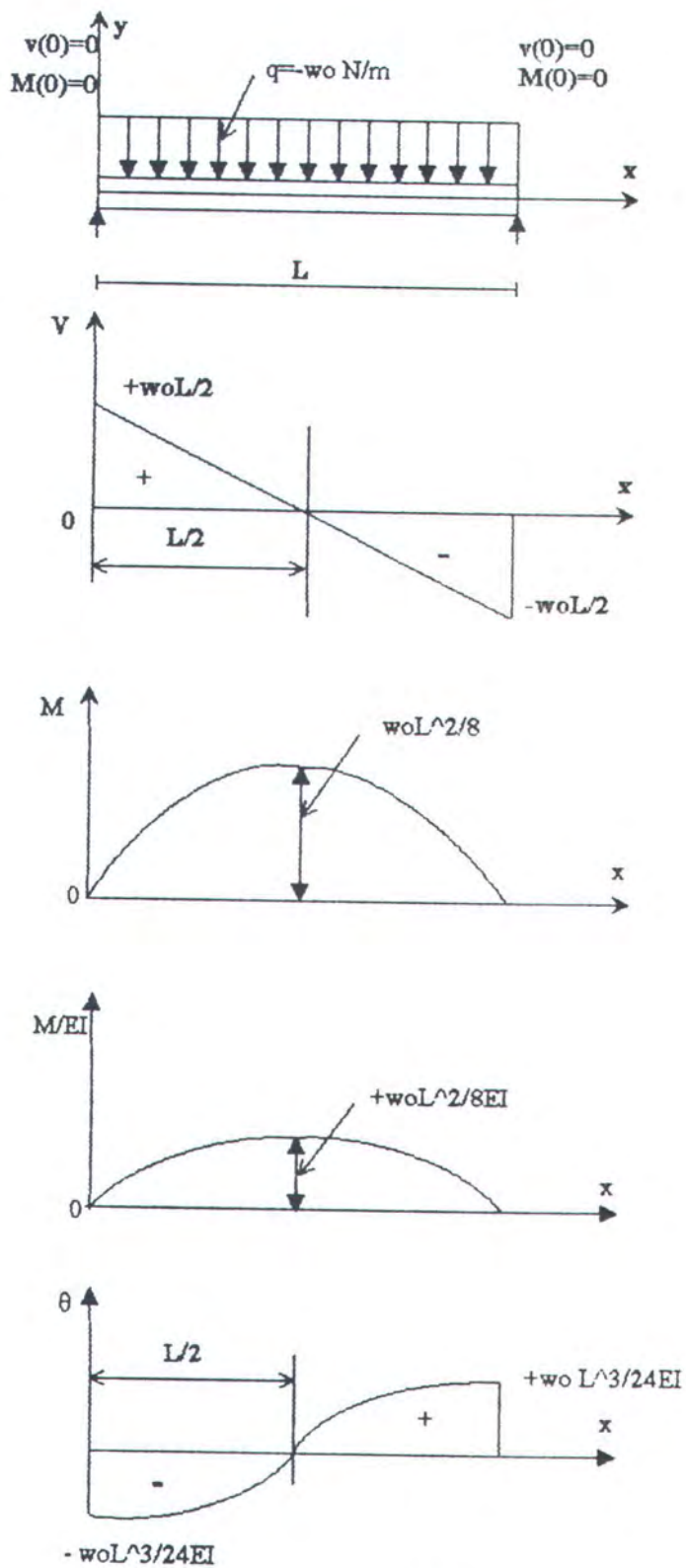
Berdasarkan ini penentuan persamaan diferensial untuk sebuah balok elastis menjadi:

$$\frac{d^2 v}{dx^2} = \frac{M}{EI}$$

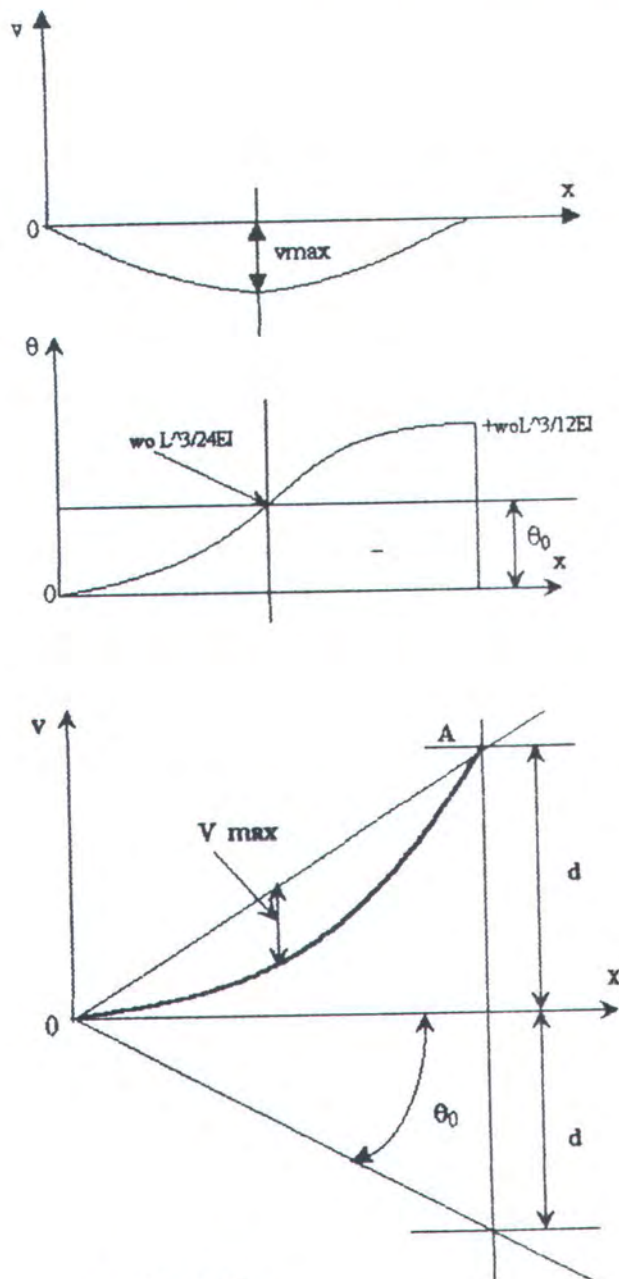


gambar 2.6. Momen dan hubungan dengan kurva

Kita ambil contoh sebuah balok sederhana menumpu suatu beban kearah bawah yang terdistribusi merata w_0 , dengan kekakuan EI adalah konstan.



gambar 2.7.a



gambar 2.7b.

$$q = -w_0 \text{ N/m}$$

$$V(x) = \int_0^L -w_0 dx = -w_0 x + C_1$$

$$M(x) = \int_0^L (w_0 x + C_1) dx = -\frac{w_0 x^2}{2} + C_1 x + C_2$$

Syarat batas $M(0) = 0$, sehingga $C_2 = 0$

$$M(L) = 0 \quad 0 = -\frac{w_0 L^2}{2} + C_1 L$$

$$C_1 = \frac{w_0 L}{2}$$

Sehingga persamaannya V dan M menjadi :

$$V(x) = -w_0 x + \frac{w_0 L}{2}$$

$$M(x) = -\frac{w_0 x^2}{2} + \frac{w_0 L x}{2}$$

$$\theta(x) = \int_0^L \left(\frac{w_0 x^2}{2} + C_1 x + C_2 \right) dx = -\frac{w_0 x^3}{6} + \frac{C_1 x^2}{2} + C_2 x + C_3$$

Syarat batas $\theta(L/2) = 0$, $0 = -\frac{w_0 (\frac{L}{2})^3}{6} + \frac{w_0 L (\frac{L}{2})^2}{4} + C_3$

$$C_3 = -\left(\frac{1}{24}\right)w_0 L^3$$

Sehingga persamaan θ menjadi :

$$\theta(x) = -\frac{w_0 x^3}{6} + \frac{w_0 L x^2}{4} - \frac{1}{24} w_0 L^3$$

$$w(x) = \int_0^L \left(\frac{w_0 x^3}{6} + \frac{C_1 x^2}{2} + C_2 x + C_3 \right) = -\frac{w_0 x^4}{24} + \frac{C_1 x^3}{6} + \frac{C_2 x^2}{2} + C_3 x + C_4$$

Syarat batas $w(0) = 0$ dan $w(L) = 0$, sehingga $C_4 = 0$

Sehingga persamaan w menjadi :

$$w(x) = -\frac{w_0 x^4}{24} + \frac{w_0 L x^3}{6} - \frac{1}{24} w_0 L^3 x$$

2.2. PERMODELAN

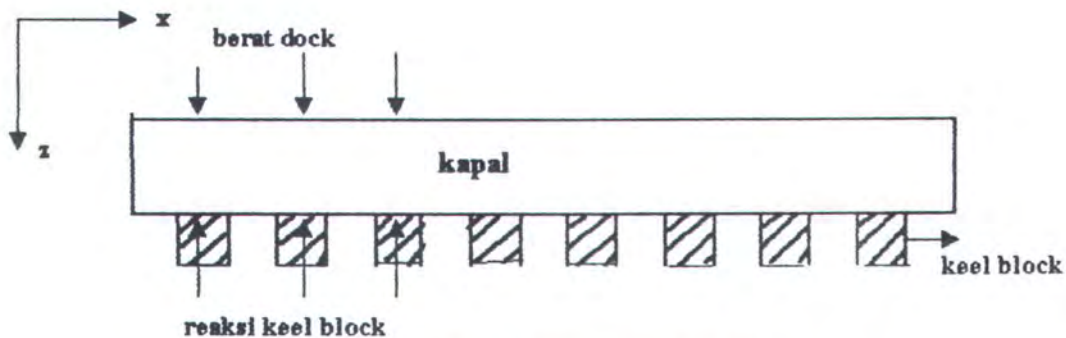
Untuk tugas akhir ini defleksi yang dihitung adalah defleksi yang disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu balok.

Untuk ini maka floating dock dan kapal diasumsikan sebagai suatu balok yang mempunyai penampang yang tidak sama, pengertian balok sendiri adalah elemen struktur yang mempunyai dimensi panjang yang relatif lebih besar dari dimensi penampang melintangnya.

2.2.1. MODEL KAPAL

Model Kapal

Beban yang bekerja pada kapal = Beban kapal sendiri - reaksi keel block.

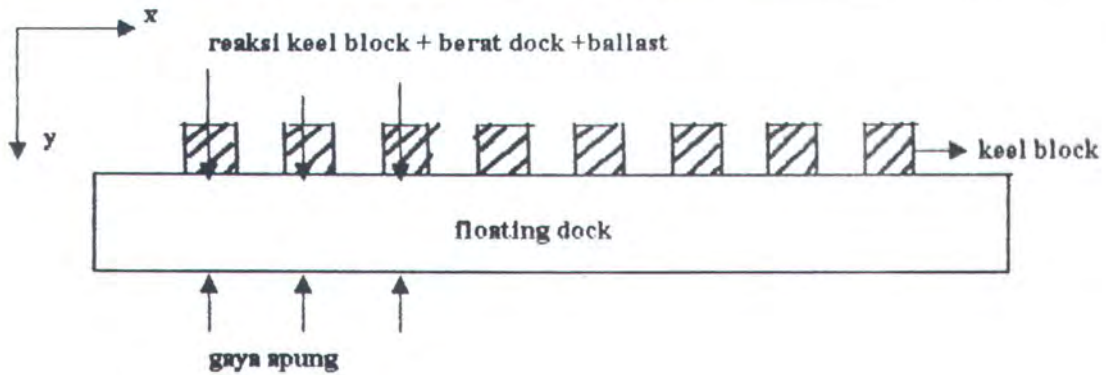


gambar 2.8. Model pembebanan kapal

2.2.2. MODEL DOCK

Model Pembebanan Floating Dock

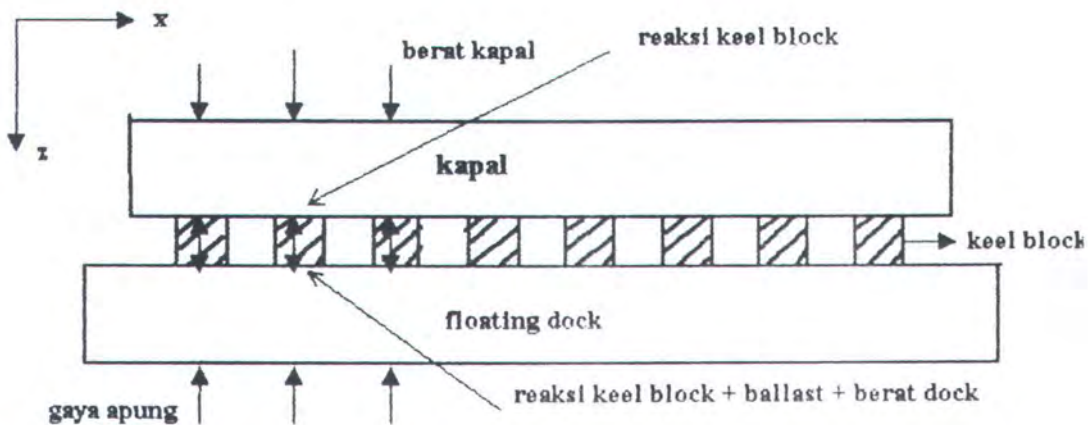
Beban Floating Dock = Gaya apung - (reaksi keel block + berat ballast + berat dock)



gambar 2.9. Model pembenan floating dock

2.2.3. MODEL GABUNGAN

Model Gabungan Floating Dock Dan Kapal



gambar 2.10. Model Gabungan

Karena pada batasan masalah tersebut diatas menyatakan bahwa harga penyusutan keel block sama untuk setiap keel block, maka harga defleksi dock dan kapal harus sama. Agar harga defleksi keduanya sama berapa harga masing-masing reaksi keel block tersebut. Untuk mencari harga reaksi keel block dibutuhkan suatu metode tertentu, yaitu ¹Method Newton Raphson, dengan variabel banyak.

¹ "NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING PRACTICE ". Amir Wadi Al-Khafaj, John & Tooley.

Gaya-gaya yang bekerja pada kapal dan dock :

$$q_{\text{kapal}} = q_{\text{k.sendiri}} - \text{reaksi keel block}$$

$$q_{\text{dok}} = \text{gaya apung} - q_{\text{d.sendiri}} - \text{reaksi keel block-ballast}$$

Besar gaya lintang adalah integral pertama dari beban $q(x)$:

$$V_{\text{kapal}}(x) = \int_0^x q_{\text{kapal}} dx \text{ (ton)}$$

$$V_{\text{dok}}(x) = \int_0^x q_{\text{dok}} dx \text{ (ton)}$$

Dimana :

$$V(x) = \text{gaya lintang (ton)}$$

Konstanta integrasi besarnya sama dengan nol karena $V(0) = 0$

Besarnya Moment Lengkung adalah :

$$M_{\text{kapal}}(x) = \int_0^x V_{\text{kapal}}(x) dx = \int_0^x \int_0^x q_{\text{kapal}}(x) dx dx \text{ (ton.m)}$$

$$M_{\text{dok}}(x) = \int_0^x V_{\text{dok}}(x) dx = \int_0^x \int_0^x q_{\text{dok}}(x) dx dx \text{ (ton.m)}$$

Juga disini konstanta integrasi adalah nol karena $M(0) = 0$

Besarnya sudut lentur adalah hasil dari integral moment :

$$\theta_{\text{kapal}}(x) = \frac{1}{E} \int_0^x \frac{M_{\text{kapal}}(x)}{I} dx = \int_0^x \int_0^x \int_0^x q_{\text{kapal}}(x) dx dx dx$$

$$\theta_{\text{dok}}(x) = \frac{1}{E} \int_0^x \frac{M_{\text{dok}}(x)}{I} dx = \int_0^x \int_0^x \int_0^x q_{\text{dok}}(x) dx dx dx$$

$$\theta = \text{sudut lentur (rad)}$$

Besarnya lenturan adalah hasil integrasi dua kali dari Moment (m)

$$W_{\text{kapal}}(x) = \int_0^x \theta(x) dx \quad (m)$$

$$W_{\text{dok}}(x) = \int_0^x \theta(x) dx \quad (m)$$

$M(x)$ = moment (ton.m)

w = lenturan (m)

E = Modulus elastisitas = 200×10^9 (ton/m²)

I = Momen inertia luasan.(m⁴)

Sedangkan rumus untuk mencari tegangan $\sigma = M/W$ (ton/m²)

Dimana :

σ = tegangan (ton/m²)

M = Moment (ton.m)

W = Modulus penampang (m³)

2.3. PERHITUNGAN GAYA LINTANG, MOMEN, SLOPE DAN DEFLEKSI SECARA NUMERIK

Sebuah floating dock yang terapung dalam keseimbangan statis, maka gaya berat floating dock harus sama dengan gaya bouyancynya. Dan titik berat memanjang floating dock berada pada garis vertikal yang sama dengan titik pusat gaya bouyancy. Karena penyebaran berat floating dock dan gaya bouyancy tidak sama sepanjang floating dock, maka bekerja gaya lintang dan momen lengkung pada floating dock. Adanya momen ini menyebabkan floating dock mengalami defleksi memanjang.

Demikian pula untuk kapal yang diatas floating, kapal dalam keseimbangan statis bila gaya berat kapal sama dengan gaya reaksi keel block. Dan titik berat

memanjang kapal harus berada pada satu garis vertikal dengan titik tangkap reaksi keel block.

Karena dalam menyelesaikan perhitungan ini kita menggunakan perhitungan secara numerik maka perhitungan Gaya Geser, Momen, Sudut lentur dan defleksi dilakukan secara numerik pula sehingga perhitungan diatas akan menjadi sebagai berikut :

$$V(x) = \int_0^x q \, dx \quad \text{Menjadi} \quad V_{i=x} = \sum_{i=0}^{x-1} (q_{i,i+1} * l)$$

Dimana : $q_{i,i+1}$ = beban merata pada station ke i sampai station ke i + 1.

$V_{i=x}$ = gaya lintang pada station ke x.

l = jarak station.

$$M(x) = \int_0^x V(x) \, dx \quad \text{Menjadi} \quad M_{i=x} = \sum_{i=0}^x \left(\left(\frac{V_i + V_{i+1}}{2} \right) * l \right)$$

Dimana : $M_{i=x}$ = harga momen lengkung pada station ke x.

V_i = gaya lintang pada station ke i.

V_{i+1} = gaya lintang pada station ke i + 1

$$\theta(x) = \int_0^x \frac{M(x)}{EI} \, dx \quad \text{Menjadi} \quad \theta_{i=x} = \sum_{i=0}^x \frac{1}{EI} \left(\left(\frac{M_i + M_{i+1}}{2} \right) * l \right)$$

Dimana : $\theta_{i=x}$ = harga slope pada station x.

M_i = harga momen pada station ke i.

M_{i+1} = harga momen pada station ke i + 1.

$$w(x) = \int_0^x \theta(x) \, dx \quad \text{Menjadi} \quad w_{i=x} = \sum_{i=0}^x \left(\left(\frac{\theta_i + \theta_{i+1}}{2} \right) * l \right)$$

Dimana : $w_{i=x}$ = harga defleksi pada station ke x.

θ_i = harga slope pada station ke i.

θ_{i+1} = harga slope pada station ke i + 1.

2.4. METHODE NEWTON RAPHSON

Pada batasan masalah diatas telah disebutkan bahwa keel block dianggap tidak mengalami defleksi, sehingga defleksi dock dan defleksi kapal harus sama. Agar harga kedua defleksi tersebut harus sama, maka berapa sebenarnya harga gaya reaksi keel block tiap-tiap staion/block. Salah satu methode untuk mencari harga variabel (reaksi keel block) yang banyak dengan dua persamaan atau lebih adalah menggunakan Methode Newton Raphson dengan variabel banyak. Literatur yang menyebutkan Methode ini sangat jarang dijumpai hanya pada text book tertentu.

$$\begin{bmatrix} \frac{df_1(x_1)}{dx_1} & \frac{df_1(x_2)}{dx_2} & \frac{df_1(x_3)}{dx_3} & \frac{df_1(x_4)}{dx_4} & \dots & \frac{df_1(x_k)}{dx_k} \\ \frac{df_2(x_1)}{dx_1} & \frac{df_2(x_2)}{dx_2} & \frac{df_2(x_3)}{dx_3} & \frac{df_2(x_4)}{dx_4} & \dots & \frac{df_2(x_k)}{dx_k} \\ \frac{df_3(x_1)}{dx_1} & \frac{df_3(x_2)}{dx_2} & \frac{df_3(x_3)}{dx_3} & \frac{df_3(x_4)}{dx_4} & \dots & \frac{df_3(x_k)}{dx_k} \\ \frac{df_4(x_1)}{dx_1} & \frac{df_4(x_2)}{dx_2} & \frac{df_4(x_3)}{dx_3} & \frac{df_4(x_4)}{dx_4} & \dots & \frac{df_4(x_k)}{dx_k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{df_i(x_1)}{dx_1} & \frac{df_i(x_2)}{dx_2} & \frac{df_i(x_3)}{dx_3} & \frac{df_i(x_4)}{dx_4} & \dots & \frac{df_i(x_k)}{dx_k} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \dots \\ h_k \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} f_1(x_i) \\ f_2(x_i) \\ \dots \\ f_n(x_i) \end{Bmatrix}$$

$\frac{df_1(x_4)}{dx_4}$ artinya defleksi 1(kesatu) akibat perubahan harga reaksi keel block ke 4 (empat) yaitu harga reaksi keel block $X_4 + \Delta X_4$, sedangkan harga reaksi keel block lainnya tetap, jadi dengan mengadakan perubahan satu reaksi keel block kita dapatkan satu kolom harga matrik jacobian.

Dimana harga $\Delta X_4 = X_4 * 10^{-7}$

Persamaan diatas dapat ditulis :

$$[J]\{h\} = \{f\}$$

$$\{h\} = -[J]^{-1} \{f\}$$

$$\text{Dimana : } h_1 = \underline{x}_1 - x_1, h_2 = \underline{x}_2 - x_2, \dots, h_n = \underline{x}_n - x_n \quad (1)$$

Jika (1) disubstitusikan dengan persamaan di atas menjadi :

$$\{x\} = \{x\} - [J]^{-1} \{f\}$$

Kapan hasil x baru akan menghasilkan harga f yang mendekati nol, maka Newton raphson memberikan indikator harga T . Dimana harga T adalah :

$$T = \sqrt{h_1^2 + h_2^2 + \dots + h_n^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n h_i^2}$$

Dari hasil pengalaman Newton Raphson memberikan petunjuk jika harga $T < 0.01$ maka harga f akan sangat kecil.

BAB III

B A B III

PEMBUATAN PROGRAM

Untuk mempermudah pelaksanaan pembuatan program maka perlu dibuatkan flow chart sebagai dasar awal pembuatan program. Pada program ini terdiri dari program utama dan tiga program subroutin. Dasar utama dari pembuatan program ini diawali dengan Methode Newton Raphson sebagai salah satu cara untuk mendapatkan nilai reaksi keel block untuk mendapatkan defleksi floating dock dan kapal yang mendekati sama.

3.1. FLOW CHART PELAKSANAAN NEWTON RAPHSO.

Pada pelaksanaan Newton Raphson terdiri dari :

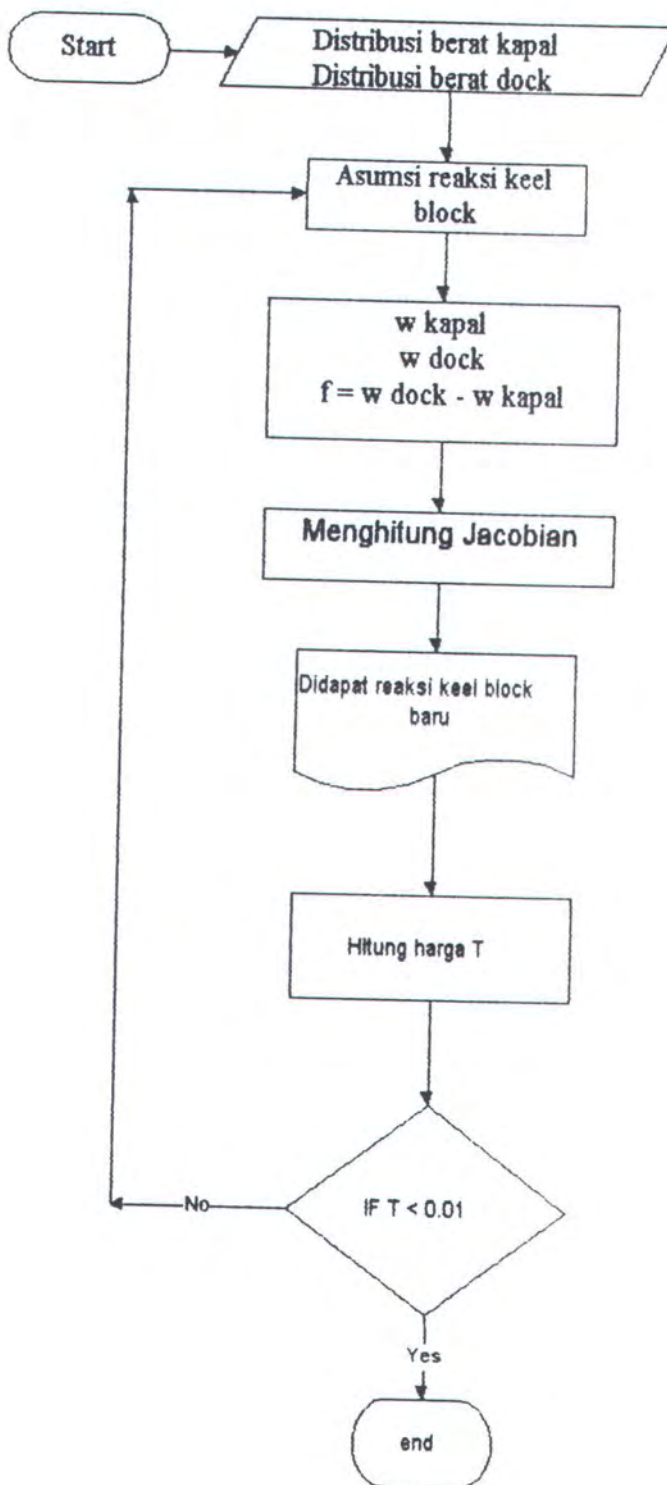
Data yang diperlukan adalah :

- Distribusi berat kapal
- Distribusi berat floating dock.

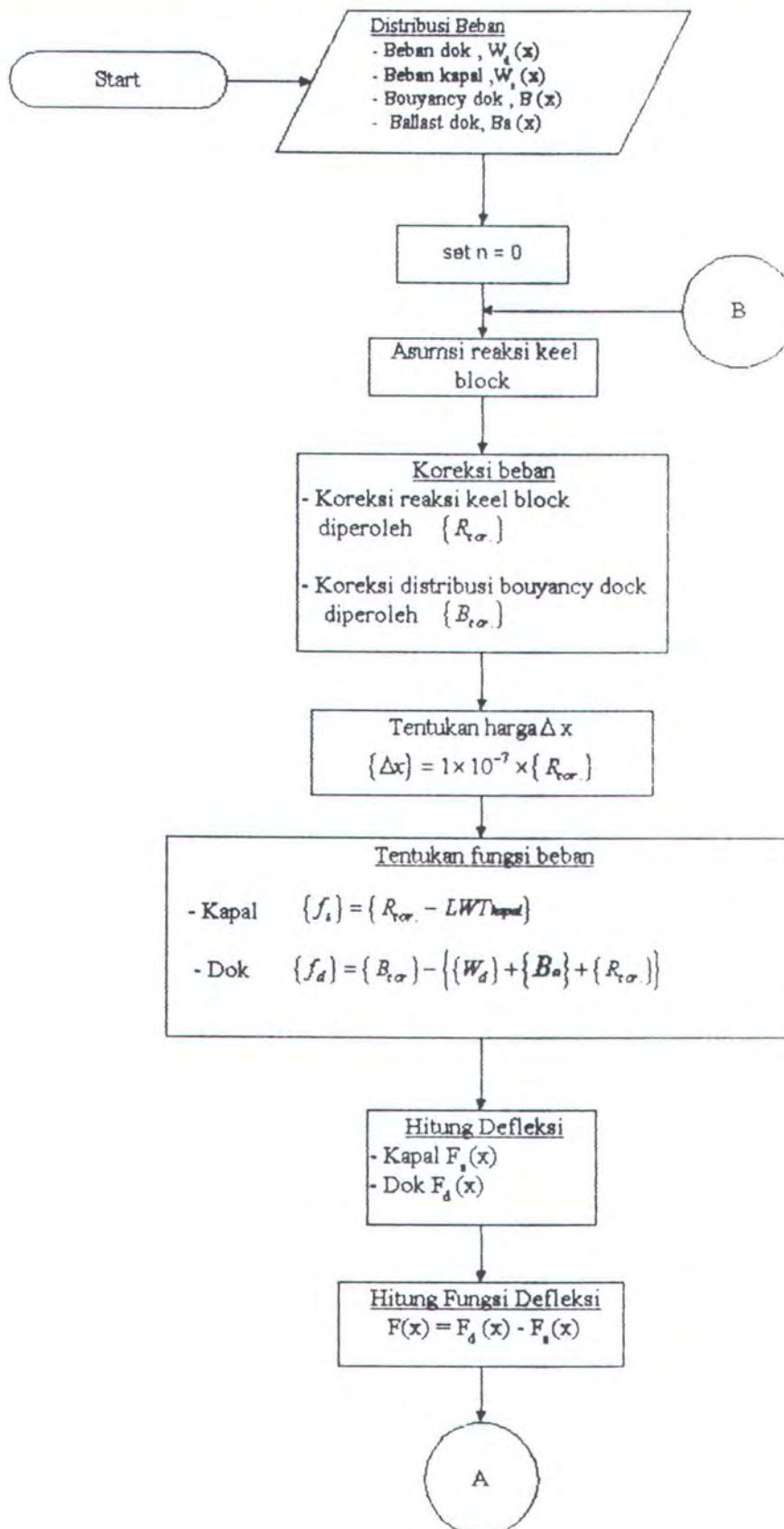
Untuk mendapatkan defleksi awal perlu diasumsikan berat reaksi keel block awal, ini diperlukan untuk mencari harga defleksi kapal dan defleksi dock, yang selanjutnya akan didapatkan selisih harga kedua defleksi tersebut. Dari selisih harga tersebut kita buat suatu matrik jacobian yang didapat dari penambahan harga reaksi keel yang relative sangat kecil dibandingkan harga reaksi keel block itu sendiri, penambahan ini pada salah satu station sedang pada station yang lainnya tetap, satu kali perubahan ini akan mendapatkan harga satu kolom dari matrik jacobian tersebut. Hal tersebut dilakukan sampai dengan jumlah station yang ada. Dari matrik jacobian tersebut dibuat matrik

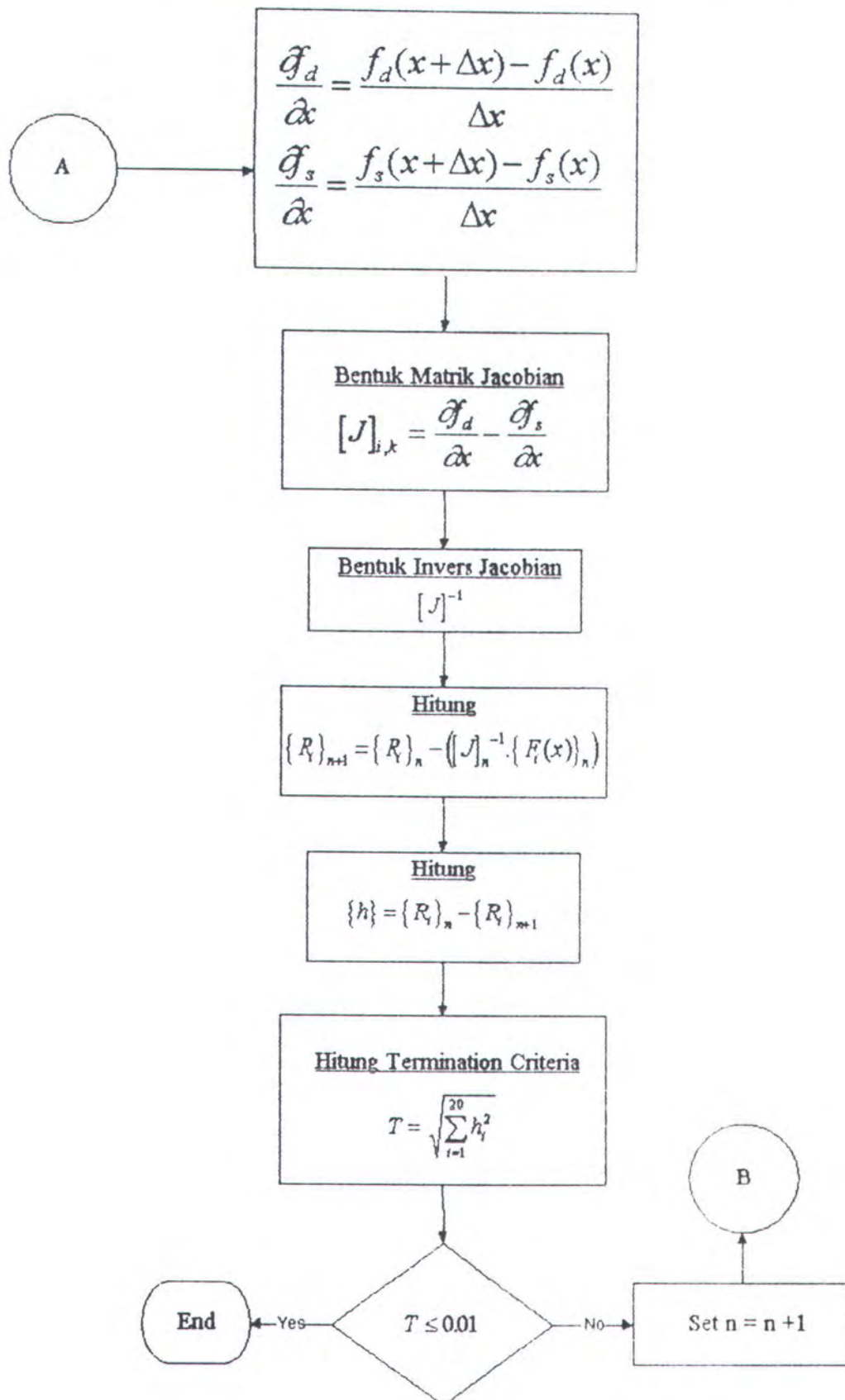
invers, seterusnya akan didapatkan reaksi keel blocks baru dengan cara mengurangi hasil reaksi keel block lama dengan perkalian matrik invers dengan selisih defleksi.

Pelaksanaan NEWTON RAPHSON

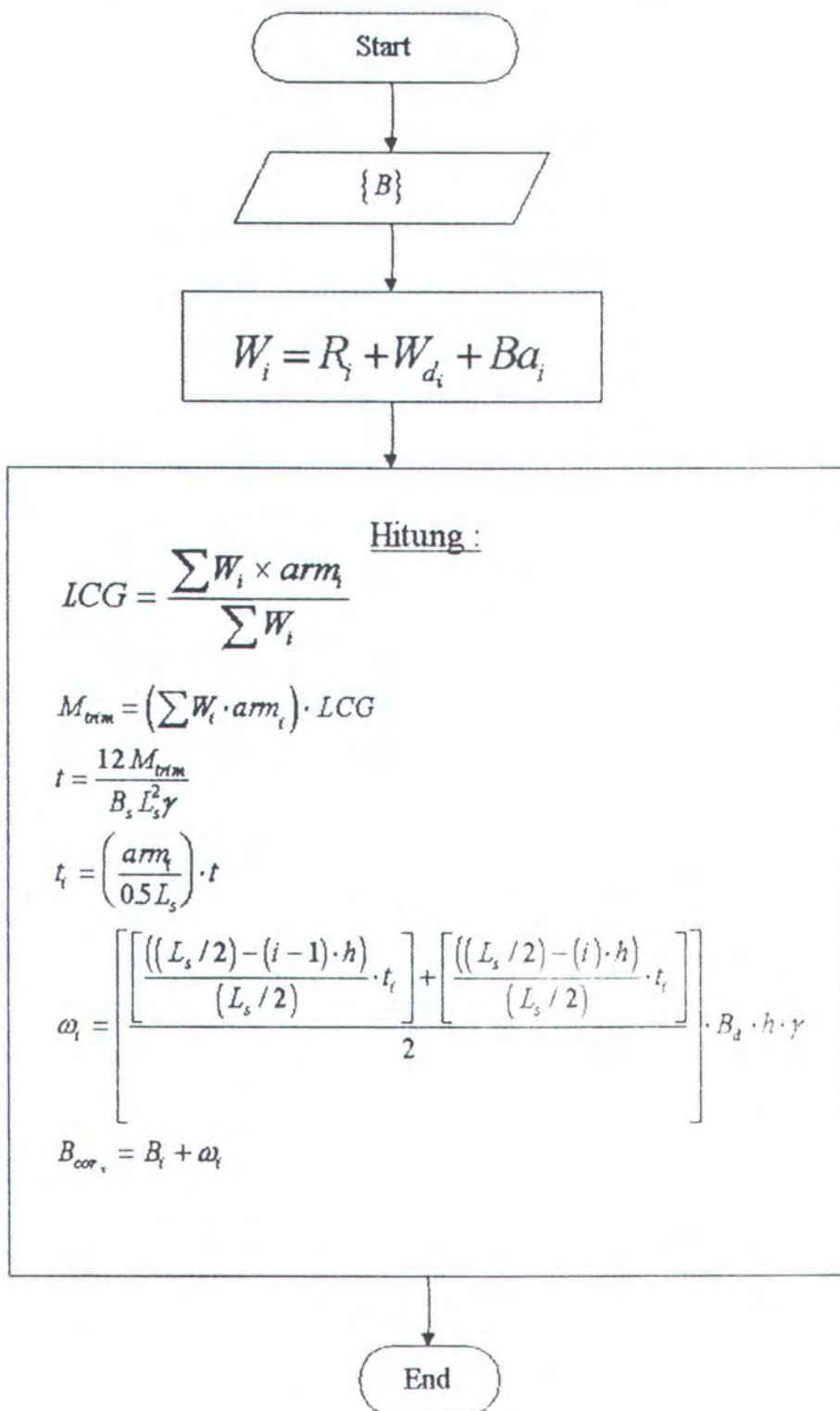


3.2. FLOW CHART PROGRAM UTAMA.

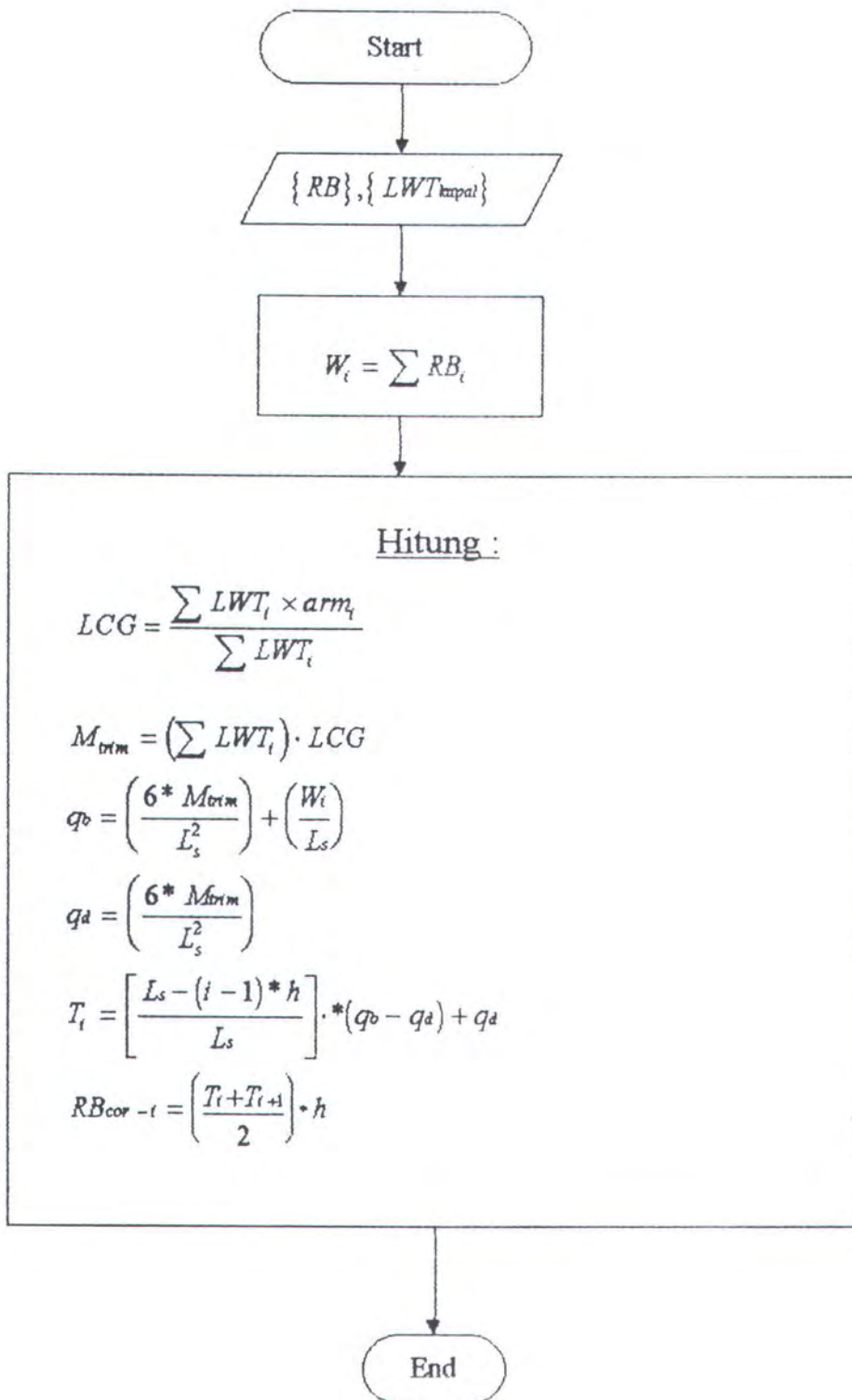




3.3. FLOW CHART KOREKSI BOUYANCY DOCK.

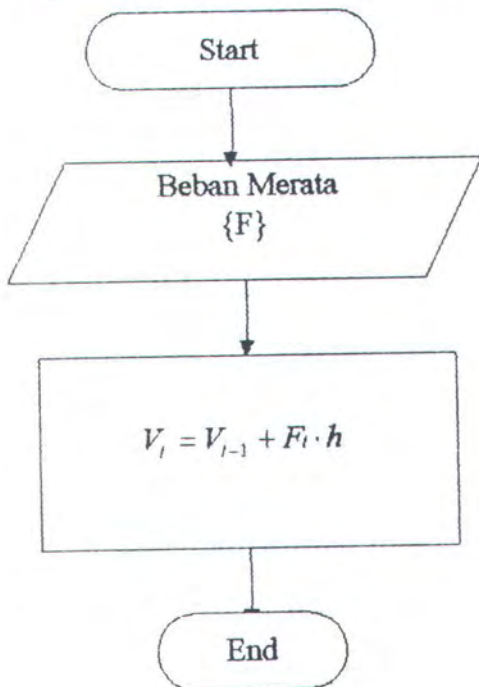
Flowchart Koreksi Bouyancy Dock

3.4. FLOW CHART KOREKSI REAKSI KEEL BLOCK.

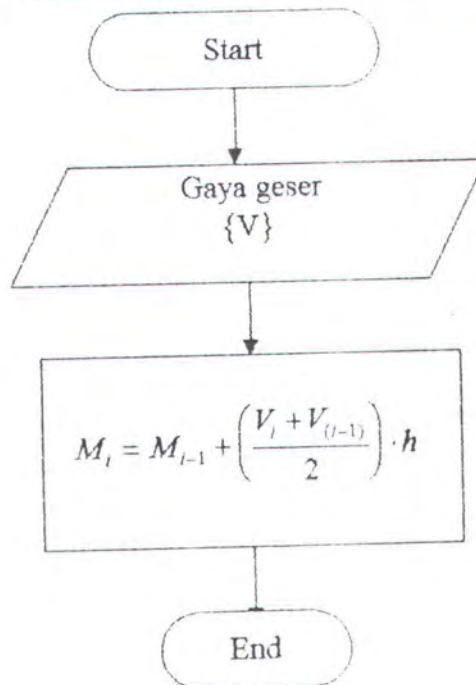
Flowchart Koreksi Reaksi keel
block

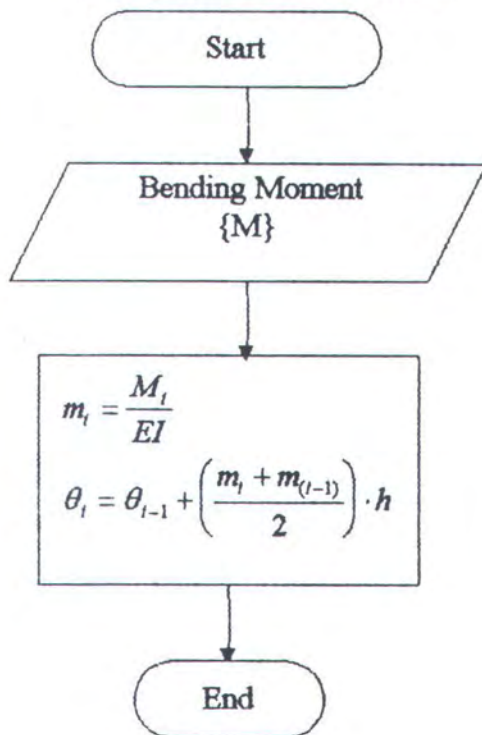
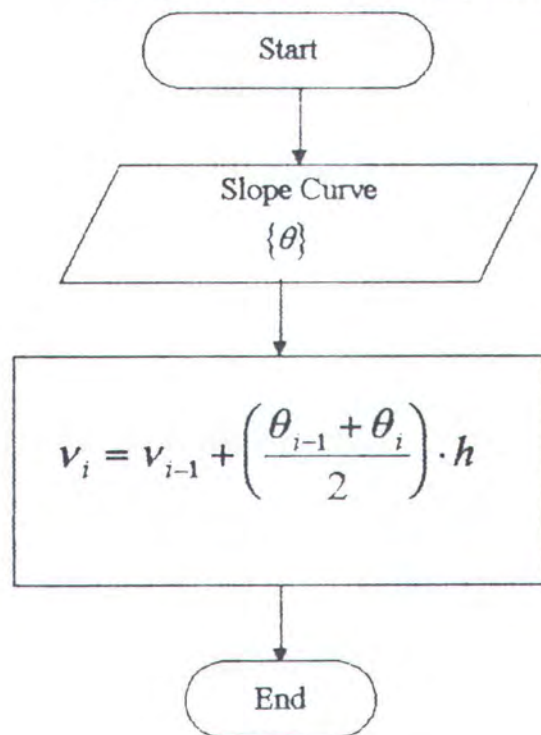
3.5. FLOW CHART PERHITUNGAN DEFLEKSI.

Flowchart Shearing Force



Flowchart Bending Moment



Flowchart Slope Curve**Flowchart Deflection Curve**

3.6. PENGUJIAN PROGRAM.

3.6.1. HASIL PROGRAM

```

r = 2      Delta      : 81651.893435915888400
r = 3      Delta      : 9802.871168927742470
r = 4      Delta      : 558.406486536119587
r = 5      Delta      : 64.469784896603429
r = 6      Delta      : 64.465387108127459
r = 7      Delta      : 0.007709626280284
r = 8      Delta      : 0.000311988968682
r = 9      Delta      : 0.000056787370554
r = 10     Delta      : 0.000009300415021
r = 11     Delta      : 0.000001557699341
r = 12     Delta      : 0.000000259654259
r = 13     Delta      : 0.000000043132683
r = 14     Delta      : 0.000000007128781
r = 15     Delta      : 0.000000001264297
r = 16     Delta      : 0.000000000127335
r = 17     Delta      : 0.000000000038126
r = 18     Delta      : 0.000000000001148
r = 19     Delta      : 0.000000000000392
r = 20     Delta      : 0.000000000000477
r = 21     Delta      : 0.000000000000309
r = 22     Delta      : 0.000000000000184
r = 23     Delta      : 0.000000000000245
r = 24     Delta      : 0.000000000000383
r = 25     Delta      : 0.000000000000090

```

File saved successfully

```

Keel block reaction at sta - 1 38.628303739817287 [t/m]
Keel block reaction at sta - 2 52.463811125344631 [t/m]
Keel block reaction at sta - 3 64.018030444670249 [t/m]
Keel block reaction at sta - 4 69.584562564213220 [t/m]
Keel block reaction at sta - 5 67.902293879554053 [t/m]
Keel block reaction at sta - 6 37.651558389968242 [t/m]
Keel block reaction at sta - 7 12.104646265714799 [t/m]
Keel block reaction at sta - 8 19.815302408079721 [t/m]
Keel block reaction at sta - 9 13.872206021283310 [t/m]
Keel block reaction at sta - 10 12.399888615468409 [t/m]
Keel block reaction at sta - 11 8.301214789711805 [t/m]
Keel block reaction at sta - 12 7.010990501085834 [t/m]
Keel block reaction at sta - 13 12.991897012315114 [t/m]
Keel block reaction at sta - 14 4.291817418400418 [t/m]
Keel block reaction at sta - 15 8.454481792969603 [t/m]
Keel block reaction at sta - 16 6.637424432345989 [t/m]
Keel block reaction at sta - 17 4.925117415862825 [t/m]
Keel block reaction at sta - 18 5.042521285088870 [t/m]
Keel block reaction at sta - 19 8.799709483240760 [t/m]
Keel block reaction at sta - 20 19.904122414864816 [t/m]
Calculation terminated after : 25 iterations
Delta when terminated : 0.000000000000090
Total keel block reactions : 474.80000000

```


| DOCK Station | Gaya Lintang (Ton) | Moment (Ton.M) | Defleksi (Meter) |
|-----------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 7.106680E+0001 | 1.870179E+0002 | 1.116258E-0006 |
| 2 | 1.088400E+0001 | 4.026779E+0002 | 6.868502E-0006 |
| 3 | -9.498935E+0001 | 1.813480E+0002 | 1.962636E-0005 |
| 4 | -2.681444E+0002 | -7.742670E+0002 | 3.233115E-0005 |
| 5 | -4.358895E+0002 | -2.626988E+0003 | 2.119582E-0005 |
| 6 | -4.448507E+0002 | -4.944725E+0003 | -5.543408E-0005 |
| 7 | -3.177049E+0002 | -6.951450E+0003 | -2.482624E-0004 |
| 8 | -1.917066E+0002 | -8.292007E+0003 | -6.030795E-0004 |
| 9 | -2.604609E+0001 | -8.865040E+0003 | -1.151286E-0003 |
| 10 | 1.156262E+0002 | -8.629303E+0003 | -1.906317E-0003 |
| 11 | 1.266518E+0002 | -7.991729E+0003 | -2.864974E-0003 |
| 12 | 1.187407E+0002 | -7.345960E+0003 | -4.014383E-0003 |
| 13 | 2.632972E+0002 | -6.340596E+0003 | -5.337029E-0003 |
| 14 | 1.876816E+0002 | -5.153810E+0003 | -6.809974E-0003 |
| 15 | 2.111373E+0002 | -4.104286E+0003 | -8.406784E-0003 |
| 16 | 2.106439E+0002 | -2.994336E+0003 | -1.010122E-0002 |
| 17 | 1.918112E+0002 | -1.935243E+0003 | -1.186746E-0002 |
| 18 | 1.825048E+0002 | -9.502015E+0002 | -1.368033E-0002 |
| 19 | 8.928589E+0001 | -2.349629E+0002 | -1.551751E-0002 |
| 20 | -7.345999E-0013 | 5.747591E-0008 | -1.736316E-0002 |

| KAPAL Station | Gaya Lintang (Ton) | Moment (Ton.M) | Defleksi (Meter) |
|------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 1.347528E+0001 | 3.546127E+0001 | 1.116258E-0006 |
| 2 | 2.063762E+0000 | 7.635350E+0001 | 6.868502E-0006 |
| 3 | -1.801134E+0001 | 3.438618E+0001 | 1.962636E-0005 |
| 4 | -5.084401E+0001 | -1.468121E+0002 | 3.233115E-0005 |
| 5 | -8.265089E+0001 | -4.981145E+0002 | 2.119582E-0005 |
| 6 | -8.435005E+0001 | -9.375906E+0002 | -5.543408E-0005 |
| 7 | -6.024139E+0001 | -1.318094E+0003 | -2.482624E-0004 |
| 8 | -3.635032E+0001 | -1.572283E+0003 | -6.030795E-0004 |
| 9 | -4.938711E+0000 | -1.680938E+0003 | -1.151286E-0003 |
| 10 | 2.192439E+0001 | -1.636239E+0003 | -1.906317E-0003 |
| 11 | 2.401499E+0001 | -1.515346E+0003 | -2.864974E-0003 |
| 12 | 2.251494E+0001 | -1.392899E+0003 | -4.014383E-0003 |
| 13 | 4.992493E+0001 | -1.202268E+0003 | -5.337029E-0003 |
| 14 | 3.558712E+0001 | -9.772361E+0002 | -6.809974E-0003 |
| 15 | 4.003466E+0001 | -7.782314E+0002 | -8.406784E-0003 |
| 16 | 3.994110E+0001 | -5.677689E+0002 | -1.010122E-0002 |
| 17 | 3.637014E+0001 | -3.669498E+0002 | -1.186746E-0002 |
| 18 | 3.460552E+0001 | -1.801718E+0002 | -1.368033E-0002 |
| 19 | 1.692988E+0001 | -4.455232E+0001 | -1.551751E-0002 |
| 20 | -2.224679E-0013 | 1.089833E-0008 | -1.736316E-0002 |

| Station | Dock deflection (Meter) | Ship deflection (Meter) | Selisih (Meter) |
|---------|----------------------------|----------------------------|--------------------|
| 1 | 1.116258E-0006 | 1.116258E-0006 | 1.033976E-0025 |
| 2 | 6.868502E-0006 | 6.868502E-0006 | 8.271804E-0025 |
| 3 | 1.962636E-0005 | 1.962636E-0005 | 6.617446E-0024 |
| 4 | 3.233115E-0005 | 3.233115E-0005 | 1.654361E-0023 |
| 5 | 2.119582E-0005 | 2.119582E-0005 | 3.805031E-0023 |
| 6 | -5.543408E-0005 | -5.543408E-0005 | 8.933551E-0023 |
| 7 | -2.482624E-0004 | -2.482624E-0004 | 2.117582E-0022 |
| 8 | -6.030795E-0004 | -6.030795E-0004 | 4.233165E-0022 |
| 9 | -1.151286E-0003 | -1.151286E-0003 | 6.352747E-0022 |
| 10 | -1.906317E-0003 | -1.906317E-0003 | 1.058791E-0021 |
| 11 | -2.864974E-0003 | -2.864974E-0003 | 1.694066E-0021 |
| 12 | -4.014383E-0003 | -4.014383E-0003 | 2.541099E-0021 |
| 13 | -5.337029E-0003 | -5.337029E-0003 | 3.388132E-0021 |
| 14 | -6.809974E-0003 | -6.809974E-0003 | 4.233165E-0021 |
| 15 | -8.406784E-0003 | -8.406784E-0003 | 5.082198E-0021 |
| 16 | -1.010122E-0002 | -1.010122E-0002 | 5.929231E-0021 |
| 17 | -1.186746E-0002 | -1.186746E-0002 | 7.623297E-0021 |
| 18 | -1.368033E-0002 | -1.368033E-0002 | 8.470729E-0021 |
| 19 | -1.551751E-0002 | -1.551751E-0002 | 1.101143E-0020 |
| 20 | -1.736316E-0002 | -1.736316E-0002 | 1.355253E-0020 |

Sarat Belakang = 3.565 Meter
 Sarat Depan = 3.235 Meter
 Trim = 0.330 Meter

3.6.2. PENGUJIAN PROGRAM

| DOCK STATION | LWT DOCK | BALLAST | reaksi keel block W3(x) ton/m | BOUYANCY koreksi B (x) ton/m | F(x) ton/m | V(x) gaya lintang ton | M(x) Moment ton.m | I(x) (m ⁴) | M(x)/EI(x) 1/E*12 | θ (x) slope | w (x) defleksi m |
|-----------------|----------|---------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------|--------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 0 - 1 | 28.26920 | 50.5300 | 38.62830373981720 | 130.930196531285000 | 13.50 | 0 | 0 | 58.0125 | 1.61188E-07 | 4.24177878E-07 | 1.11625757E-06 |
| 1 - 2 | 36.99040 | 50.5300 | 52.46381112534460 | 128.549478662531000 | -11.43 | 71.067 | 187.02 | 58.0125 | 3.47061E-07 | 1.76167508E-06 | 6.86850219E-06 |
| 2 - 3 | 31.91980 | 50.5300 | 64.01803044467020 | 126.351892937527000 | -20.12 | 10.884 | 402.68 | 58.0125 | 1.56301E-07 | 3.08631239E-06 | 1.96263639E-05 |
| 3 - 4 | 36.93920 | 50.5300 | 69.58456256421320 | 124.154307212524000 | -32.90 | -94.989 | 181.35 | 58.0125 | -6.67328E-07 | 1.74150468E-06 | 3.23311457E-05 |
| 4 - 5 | 35.39600 | 50.5300 | 67.90229387955400 | 121.956721487520000 | -31.87 | -268.144 | -774.27 | 58.0125 | -2.26416E-06 | -5.97292808E-06 | 2.11958210E-05 |
| 5 - 6 | 33.28020 | 50.5300 | 37.65155838996820 | 119.759135762516000 | -1.70 | -435.889 | -2626.99 | 58.0125 | -2.26416E-06 | -5.97292808E-06 | 2.11958210E-05 |
| 6 - 7 | 30.76920 | 50.5300 | 12.10464626571470 | 117.561550037512000 | 24.16 | -444.851 | -4944.73 | 58.0125 | -4.26178E-06 | -2.31464339E-05 | -5.54340791E-05 |
| 7 - 8 | 21.07900 | 50.5300 | 19.81530240807970 | 115.363964312509000 | 23.94 | -317.705 | -6951.45 | 58.0125 | -5.99134E-06 | -5.01283123E-05 | -2.48262358E-04 |
| 8 - 9 | 17.47180 | 50.5300 | 13.87220602128330 | 113.349510731255000 | 23.94 | -191.707 | -8292.01 | 58.0125 | -7.14674E-06 | -8.47022061E-05 | -6.03079512E-04 |
| 9 - 10 | 20.75480 | 50.5300 | 12.39998861546840 | 110.602528575001000 | 26.92 | -26.046 | -8865.04 | 58.0125 | -7.64063E-06 | -1.23616340E-04 | -1.15128621E-03 |
| 10 - 11 | 48.21140 | 50.5300 | 8.30121478971181 | 109.137471424998000 | 2.09 | 115.626 | -3629.30 | 58.0125 | -7.43745E-06 | -1.63295500E-04 | -1.90631737E-03 |
| 11 - 12 | 50.35260 | 50.5300 | 7.01099050108582 | 106.390489268744000 | -1.50 | 126.652 | -7991.73 | 58.0125 | -6.83794E-06 | -2.00993892E-04 | -2.86497366E-03 |
| 12 - 13 | 13.32840 | 50.5300 | 12.99189701231510 | 104.376035687490000 | 27.47 | 118.741 | -7345.96 | 58.0125 | -6.33136E-06 | -2.35731514E-04 | -4.01438263E-03 |
| 13 - 14 | 61.72360 | 50.5300 | 4.29181741840039 | 102.178449962487000 | -14.37 | 263.297 | -6340.60 | 58.0125 | -5.46485E-06 | -2.66824180E-04 | -5.33702919E-03 |
| 14 - 15 | 36.53980 | 50.5300 | 8.45448179296962 | 99.980864237483300 | 4.46 | 187.682 | -5153.81 | 58.0125 | -4.44198E-06 | -2.92894301E-04 | -6.80997388E-03 |
| 15 - 16 | 40.70960 | 50.5300 | 6.63742448234596 | 97.783278512479600 | -0.09 | 211.137 | -4104.29 | 58.0125 | -3.53742E-06 | -3.13893216E-04 | -8.40678445E-03 |
| 16 - 17 | 43.70830 | 50.5300 | 4.92511741586225 | 95.585692787475900 | -3.58 | 190.644 | -2994.34 | 58.0125 | -2.58077E-06 | -3.29993599E-04 | -1.01012237E-02 |
| 17 - 18 | 39.58380 | 50.5300 | 5.04252128508832 | 93.388107062472200 | -1.77 | 191.811 | -1935.24 | 58.0125 | -1.66795E-06 | -3.41174548E-04 | -1.18674555E-02 |
| 18 - 19 | 49.57240 | 50.5300 | 8.79970948324083 | 91.190521337468500 | -17.71 | 182.505 | -950.20 | 58.0125 | -3.18963E-07 | -3.47719062E-04 | -1.36803338E-02 |
| 19 - 20 | 35.34000 | 50.5300 | 19.90412241486460 | 88.809803468714400 | -16.96 | 89.286 | -234.96 | 58.0125 | -2.02511E-07 | -3.50407149E-04 | -1.55175081E-02 |
| | | | | | | 0.000 | 0.00 | 58.0125 | 4.89012E-17 | -3.50940072E-04 | -1.73631587E-02 |

Kapal

| station | LWT KAPAL | reaksi keel block B(x) ton/m 2 | F(x) 2-l ton/m 3 | V (x) ton 4 | M(x) ton.m 5 | lengan m 6 | I(x) (m ⁴) 7 | M(x)/EI(x) 11/E*12 8 | θ (x) slope 9 | w (x) defleksi m 10 |
|---------|---------------------|--------------------------------------------|---------------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| | W (x) ton/m 1 | | | 0 | 0 | | 11 | 0 | 0 | 0 |
| 0 - 1 | 36.068 | 38.628303739817200 | 2.6 | 13.5 | 35.5 | 47.50 | 2.5 | 1.612E-07 | 4.24177878E-07 | 1.11625757E-06 |
| 1 - 2 | 54.632 | 52.463811125344600 | -2.2 | 2.1 | 76.4 | 42.50 | 4 | 3.471E-07 | 1.76167508E-06 | 6.86850219E-06 |
| 2 - 3 | 67.832 | 64.018030444670200 | -3.8 | -18.0 | 34.4 | 37.50 | 5.7 | 1.563E-07 | 3.08631239E-06 | 1.96263639E-05 |
| 3 - 4 | 75.823 | 69.584562564213200 | -6.2 | -50.8 | -146.8 | 32.50 | 7 | -6.67E-07 | 1.74150468E-06 | 3.23311457E-05 |
| 4 - 5 | 73.946 | 67.902293879554000 | -6.0 | -82.7 | -498.1 | 27.50 | 8 | -2.26E-06 | -5.97292808E-06 | 2.11958210E-05 |
| 5 - 6 | 37.974 | 37.651558389968200 | -0.3 | -84.4 | -937.6 | 22.50 | 9 | -4.26E-06 | -2.31464339E-05 | -5.54340791E-05 |
| 6 - 7 | 7.524 | 12.104646265714700 | 4.6 | -60.2 | -1318.1 | 17.50 | 10.1 | -5.99E-06 | -5.01283123E-05 | -2.48262358E-04 |
| 7 - 8 | 15.276 | 19.815302408079700 | 4.5 | -36.4 | -1572.3 | 12.50 | 10.6 | -7.15E-06 | -8.47022061E-05 | -6.03079512E-04 |
| 8 - 9 | 7.904 | 13.872206021283300 | 6.0 | -4.9 | -1680.9 | 7.50 | 10.8 | -7.64E-06 | -1.23616340E-04 | -1.15128621E-03 |
| 9 - 10 | 7.296 | 12.399988615468400 | 5.1 | 21.9 | -1636.2 | 2.50 | 11 | -7.44E-06 | -1.63295500E-04 | -1.90631737E-03 |
| 10 - 11 | 7.904 | 8.301214789711810 | 0.4 | 24.0 | -1515.3 | -2.50 | 11.1 | -6.39E-06 | -2.00993892E-04 | -2.86497366E-03 |
| 11 - 12 | 7.296 | 7.010990501035820 | -0.3 | 22.5 | -1392.9 | -7.50 | 11.2 | -6.33E-06 | -2.35781514E-04 | -4.01438263E-03 |
| 12 - 13 | 7.784 | 12.991897012315100 | 5.2 | 49.9 | -1202.3 | -12.50 | 11.1 | -5.46E-06 | -2.66824180E-04 | -5.33702919E-03 |
| 13 - 14 | 7.016 | 4.291817418400390 | -2.7 | 35.6 | -977.2 | -17.50 | 10.9 | -4.44E-06 | -2.92894801E-04 | -6.80997388E-03 |
| 14 - 15 | 7.609 | 8.454481792969620 | 0.8 | 40.0 | -778.2 | -22.50 | 10.6 | -3.54E-06 | -3.13893216E-04 | -8.40678445E-03 |
| 15 - 16 | 6.655 | 6.637424432345960 | 0.0 | 39.9 | -567.8 | -27.50 | 10.1 | -2.58E-06 | -3.29993699E-04 | -1.01012237E-02 |
| 16 - 17 | 5.604 | 4.925117415862850 | -0.7 | 36.4 | -366.9 | -32.50 | 9.5 | -1.67E-06 | -3.41174545E-04 | -1.18674559E-02 |
| 17 - 18 | 5.378 | 5.042521285088820 | -0.3 | 34.6 | -180.2 | -37.50 | 8.9 | -8.19E-07 | -3.47719062E-04 | -1.36803338E-02 |
| 18 - 19 | 12.158 | 8.799709483240830 | -3.4 | 16.9 | -44.6 | -42.50 | 7.4 | -2.03E-07 | -3.50407149E-04 | -1.55175081E-02 |
| 19 - 20 | 23.121 | 19.904122414864600 | -3.2 | 0.0 | 0.0 | -47.50 | 5.7 | 4.863E-17 | -3.50940072E-04 | -1.73631587E-02 |

SELISIH DEFLEKSI DOCK DAN KAPAL

| Station | Reaksi keel block | Defleksi dock | Defleksi kapal | Selisih Defleksi |
|---------|-------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 1 | 38.62830373981720 | 1.11625757E-06 | 1.11625757E-06 | 2.689330E-20 |
| 2 | 52.46381112534460 | 6.86850219E-06 | 6.86850219E-06 | 1.871943E-19 |
| 3 | 64.01803044467020 | 1.96263639E-05 | 1.96263639E-05 | 6.471332E-19 |
| 4 | 69.58456256421320 | 3.23311457E-05 | 3.23311457E-05 | 1.592422E-18 |
| 5 | 67.90229387955400 | 2.11958210E-05 | 2.11958210E-05 | 3.272935E-18 |
| 6 | 37.65155838996820 | -5.54340791E-05 | -5.54340791E-05 | 6.078308E-18 |
| 7 | 12.10464626571470 | -2.48262358E-04 | -2.48262358E-04 | 1.040834E-17 |
| 8 | 19.81530240807970 | -6.03079512E-04 | -6.03079512E-04 | 1.669671E-17 |
| 9 | 13.87220602128330 | -1.15128621E-03 | -1.15128621E-03 | 2.537033E-17 |
| 10 | 12.39998861546840 | -1.90631737E-03 | -1.90631737E-03 | 3.686287E-17 |
| 11 | 8.30121478971181 | -2.86497366E-03 | -2.86497366E-03 | 5.117434E-17 |
| 12 | 7.01099050108582 | -4.01438263E-03 | -4.01438263E-03 | 6.938894E-17 |
| 13 | 12.99189701231510 | -5.33702919E-03 | -5.33702919E-03 | 9.020562E-17 |
| 14 | 4.29181741840039 | -6.80997388E-03 | -6.80997388E-03 | 1.136244E-16 |
| 15 | 8.45448179296962 | -8.40678445E-03 | -8.40678445E-03 | 1.405126E-16 |
| 16 | 6.63742443234596 | -1.01012237E-02 | -1.01012237E-02 | 1.700029E-16 |
| 17 | 4.92511741586285 | -1.18674559E-02 | -1.18674559E-02 | 2.029626E-16 |
| 18 | 5.04252128508882 | -1.36803338E-02 | -1.36803338E-02 | 2.411266E-16 |
| 19 | 8.79970948324083 | -1.55175081E-02 | -1.55175081E-02 | 2.827599E-16 |
| 20 | 19.90412241486460 | -1.73631587E-02 | -1.73631587E-02 | 3.330669E-16 |

BAB IV

BAB IV

PERHITUNGAN DEFLEKSI KAPAL TANKER KURAU DAN FLOATING DOCK PARE-PARE

4.1. DISTRIBUSI BEBAN.

Modifikasi Penyebaran Berat kapal dan floating dock.

Kurva distribusi berat yang ada pada data kapal dan floating akan terdapat banyak diskontinuitas. Perubahan berat persatuan panjang ini harus disesuaikan jumlah stationnya dengan jarak antar keel block. Sehingga mempermudah dalam penjumlahan beban serta integrasi. Semakin kecil jarak station harga yang diperoleh semakin akurat, tetapi hal ini dibatasi dengan posisi keel block yang tidak mungkin untuk dipindah-pindah. Tetapi pada kasus ini station kita bagi menjadi 20 station, karena untuk penyederhanaan perhitungan. Dengan merubah jarak station dari station dock atau kapal ke jarak yang sesuai dengan jarak yang kita inginkan maka akan terdapat berat sisa akibat adanya berat lokal yang ujung-ujungnya tidak tepat pada station yang ditentukan. Untuk itu, berat tersebut harus dipindahkan ke dua bagian dari pembagian yang telah dibuat. Supaya pemindahan ini tidak mengubah harga gaya dan momennya, maka harus dipenuhi ketentuan sbb :

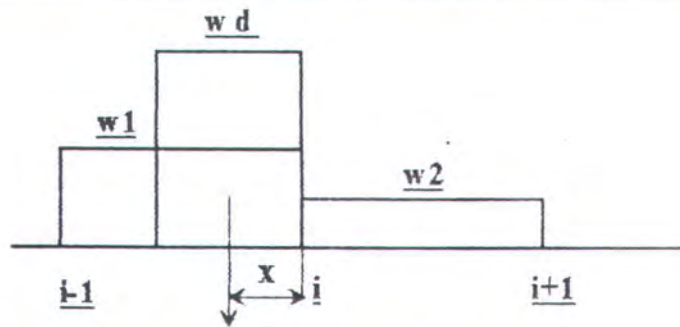
$$w_d = w_1 + w_2$$

$$w_1 = w_d - w_2 \quad (1)$$

$$w_d \cdot x = w_1 \cdot (l/2) - w_2 \cdot (l/2) \quad (2)$$

substitusi (1) ke (2) :

$$w_d \cdot x = (w_d - w_2) \cdot (l/2) - w_2 \cdot (l/2)$$



gambar 4.1. Pemindahan distribusi beban

sehingga : $w_2 = w_d (0.5 - x/l)$

$$w_1 = w_d (0.5 + x/l)$$

dimana : w_d = berat sisa yang dipindahkan

x = titik berat dari berat sisa terhadap station terdekat

w_1 dan w_2 = berat hasil pemindahan

l = jarak antara station.

4.1.1. Distribusi Beban Kapal.

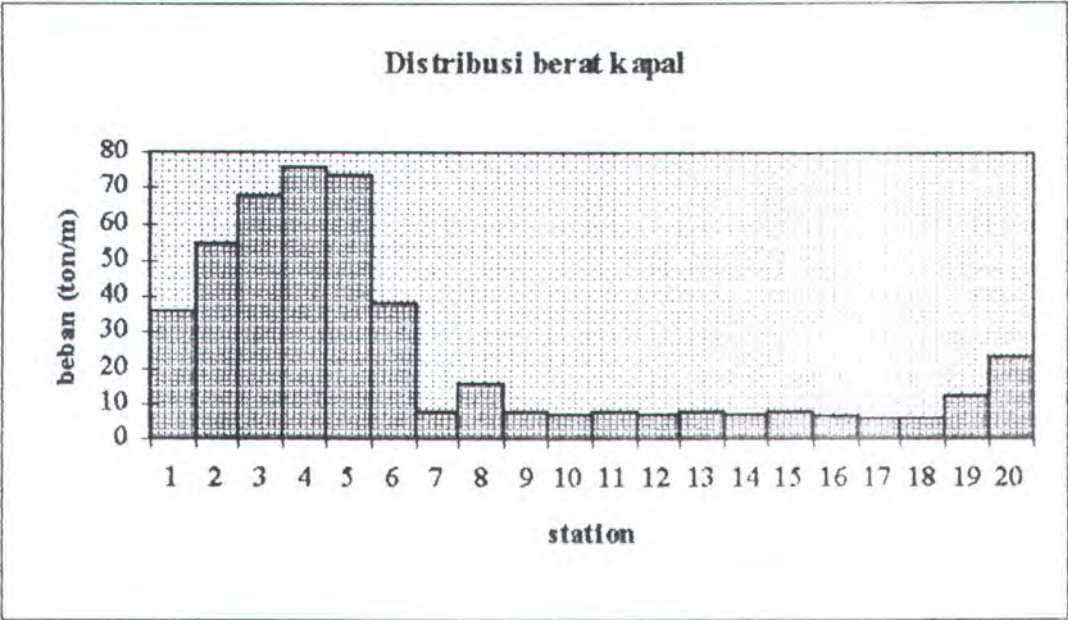
Distribusi beban kapal yang naik floating dock.

Terdiri dari distribusi Reaksi keel block dikurangi distribusi LWT kapal.

4.1.1.1. Distribusi Berat Kapal.

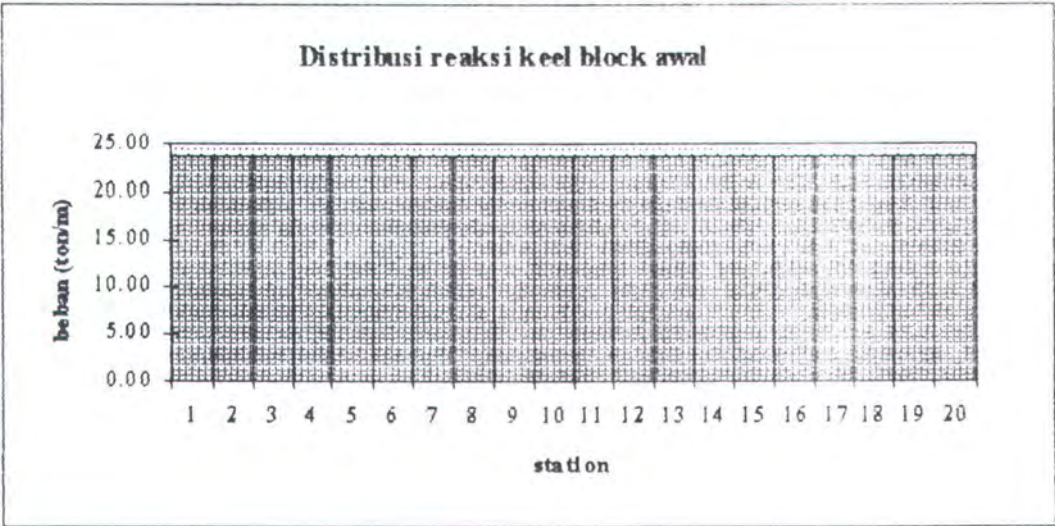
Distribusi berat kapal yang dihitung adalah LWT kapal.

Distribusi berat kapal ini didapat dari data dengan jarak station kemudian dilakukan modifikasi pemindahan beban. Distribusi berat kapal ini, dibagi menjadi 20 station jarak antar station = 5m.



4.1.1.2. Distribusi reaksi keel block awal.

Distribusi reaksi keel block awal ini kita asumsikan rata sepanjang station, dengan berat total sama dengan berat LWT kapal, yaitu 2374 ton yang mempunyai arah ke bawah.



4.1.2. Distribusi Beban Floating dock.

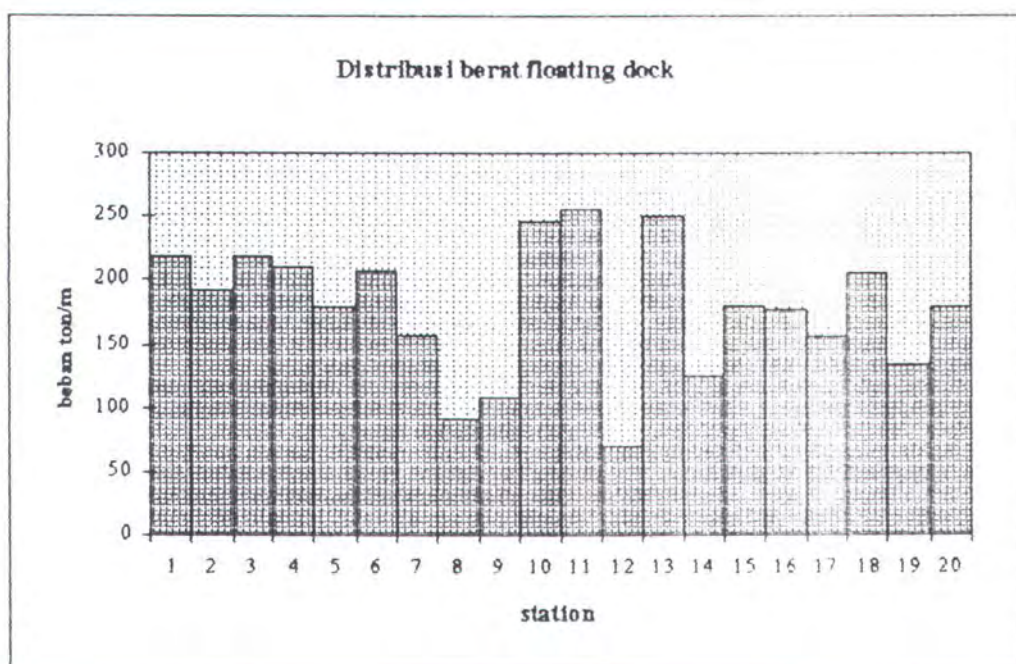
Distribusi beban Floating Dock terdiri dari :

- Distribusi berat LWT dock.
- Distribusi berat ballast.
- Distribusi gaya apung (bouyancy).
- Distribusi berat reaksi keel block.

Distribusi reaksi keel block di sini besarnya sama dengan reaksi keel block pada kapal, tetapi mempunyai arah yang berlawanan yaitu ke bawah.

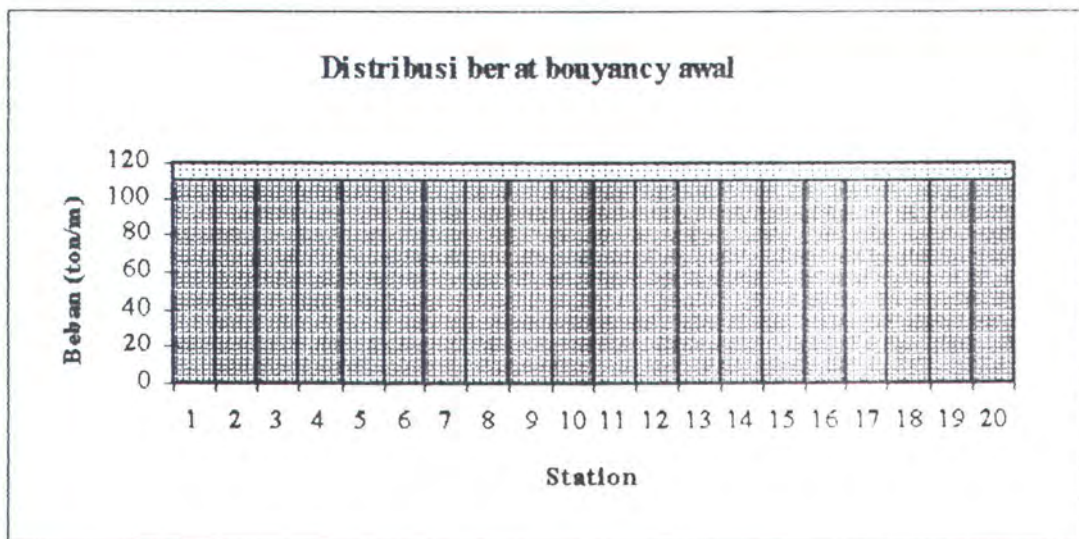
4.1.2.1. Distribusi Berat Floating Dock.

Distribusi berat dock yang dihitung adalah LWT dock. Penyebaran berat floating dock didapat dari data yang ada pada dock, yaitu berupa berat konstruksi dock dan peralatan yang ada pada dock. Dari data floating dock didapat berat floating dock kosong = 3560 ton.



4.1.2.2. Distribusi Berat Bouyancy.

Karena ponton floating dock dari belakang sampai ke depan berbentuk sama maka distribusi bebannya juga merata. Distribusi Bouyancy disini dihitung pada sarat kerja yaitu pada sarat 3.4 m, dari perhitungan di dapat bouyancy/displacement = 10987 ton.



4.1.2.3. Distribusi Berat Ballast.

Distribusi berat ballast diasumsikan rata sepanjang dock, berat ballast didapat dari:

Karena persyaratan pembebanan harus memenuhi syarat keseimbangan statis.

$$\sum \text{ gaya} = 0$$

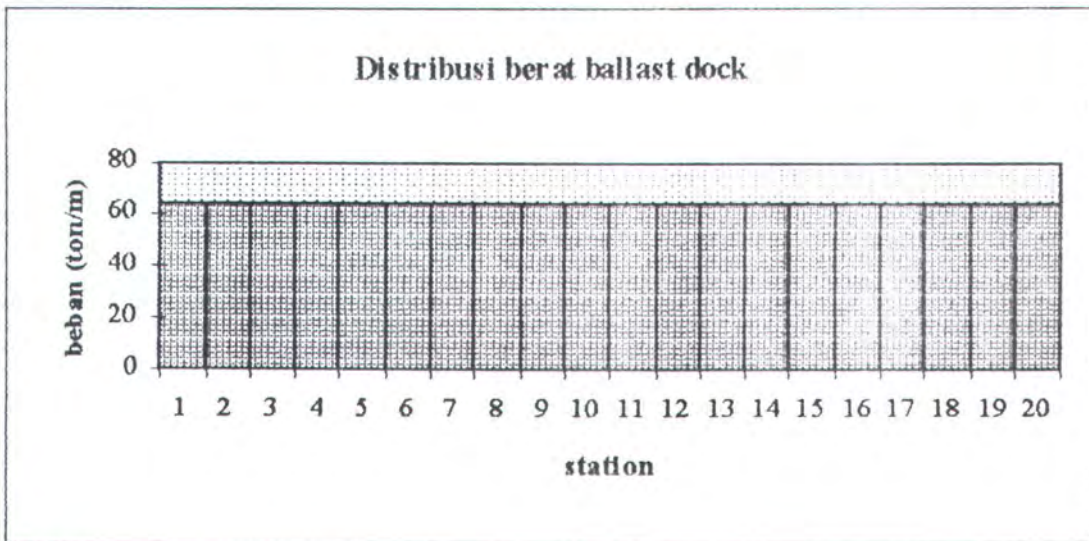
Berat Bouyancy (gaya apung) = LWT Dock + Reaksi keel block + Ballast dock.

Sehingga :

Berat ballast = Berat bouyancy - Lwt dock - reaksi keel block.

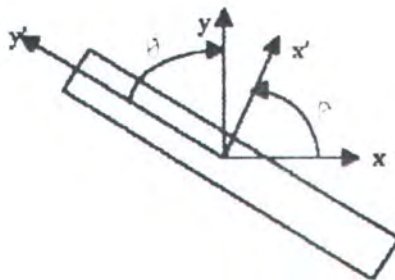
Berat ballast = 10987 - 3560 - 2374 = 5053 ton.

Dari berat tersebut di atas dibagi rata menjadi 20 bagian dan dibagi pula jarak station.



4.2. INERTIA

Untuk menghitung inertia pada bagian yang miring digunakan momen inertia pergeseran sumbu.



$$I_{x'} = ((I_x + I_y)/2) + ((I_x - I_y)/2)\cos 2\theta + (-I_{xy})\sin 2\theta$$

$$I_{y'} = ((I_x + I_y)/2) - ((I_x - I_y)/2)\cos 2\theta - (-I_{xy})\sin 2\theta$$

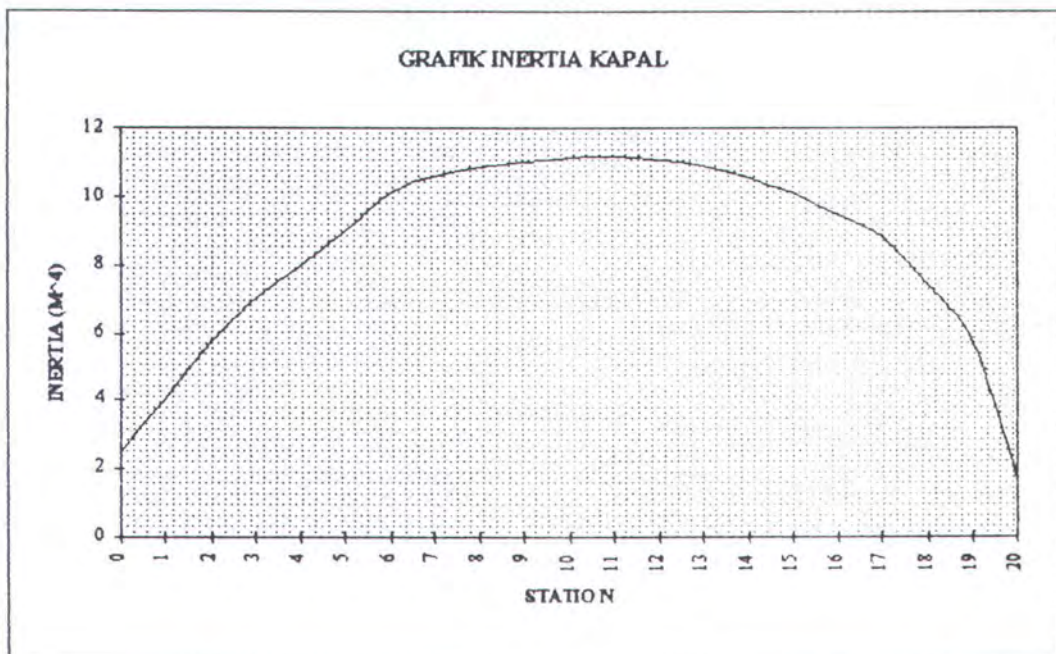
4.2.1. Inertia Kapal.

Untuk menghitung Inertia kapal diambil 6 section yaitu :

- Section Frame - d = 2.823 m^4
- Section Frame - 5 = 4.274 m^4
- Section Frame - 8 = 5.787 m^4
- Mid ship = 11.172 m^4
- Section Frame - 77 = 7.220 m^4
- Section Frame - 83 = 2.659 m^4

Perhitungan inertia ada pada lampiran.

Dari data-data inertia tersebut dibuat grafik inertia kapal seperti dibawah ini :



4.2.2. Inertia Dock.

Moment Inertia sepanjang floating dock adalah hampir sama karena konstruksinya hampir sama sepanjang dock. Perhitungan inertia ada pada lampiran.

Dari hasil perhitungan didapat inertia dock = 58.125 m^4

4.3. KOREKSI TITIK BERAT.

Untuk memenuhi syarat keseimbangan moment maka titik berat dari distribusi gaya ke atas dan titik berat harus terletak pada satu garis vertikal, hal ini berarti titik tangkap keduanya harus sama besar.

4.3.1. Koreksi Titik Berat Reaksi Keel Block.

Seperti kita ketahui bahwa reaksi keel awal block kita asumsikan rata sepanjang keel block, oleh karena itu maka perlu diadakan koreksi dari titik berat keel block.

Koreksi ini dilakukan secara linear, kita anggap reaksi keel block distribusi bebannya berbentuk trapesium.

Dengan Menggunakan Syarat Keseimbangan Statis :

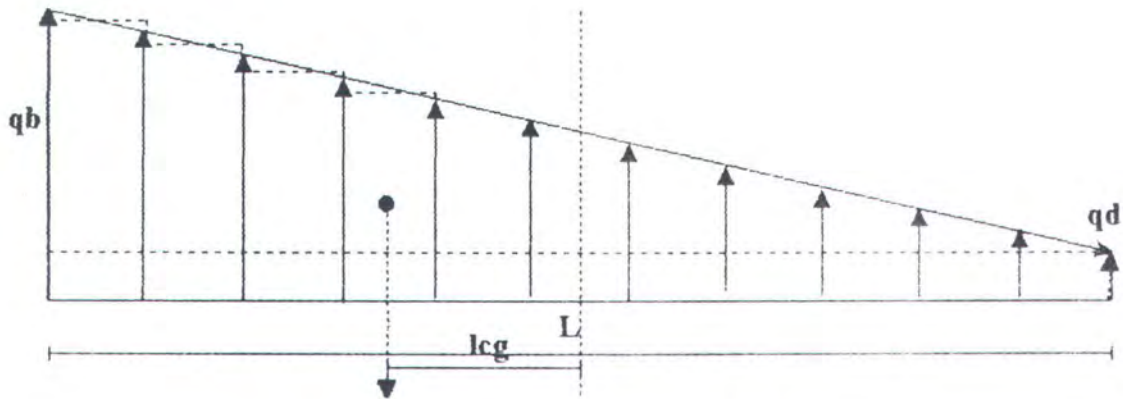
$$\sum \text{gaya} = 0$$

$$\text{LWT Kapal} + \text{Reaksi keel block} = 0$$

$$\sum \text{Moment} = 0$$

$$\text{Lwt kapal} \times \text{titik berat kapal} + \text{reaksi keel block} \times \text{titik berat keel block} = 0$$

Koreksi Linear Reaksi Keel Block Thd Titik Berat Lwt Kapal



gambar 4.2. Koreksi reaksi keel block

$$berat = (q_d + q_b) \left(\frac{L}{2} \right)$$

$$q_d = \left(berat / \left(\frac{L}{2} \right) \right) - q_b$$

$$q_d = (2 * berat / (L)) - q_b$$

$$berat = (q_d * L) + (q_b - q_d) \left(\frac{L}{2} \right)$$

$$berat.lcg = (q_d * L)(0) + (q_b - q_d)$$

$$berat.lcg / \left(\frac{L}{2} \right) \left(\frac{L}{6} \right) = (q_b - q_d)$$

$$q_b = \left[berat.lcg / \left(\frac{L^2}{12} \right) \right] + q_d$$

$$q_b = \left[berat.lcg / \left(\frac{L^2}{12} \right) \right] + [2 * berat / (L) - q_b]$$

$$2q_b = [12 * berat.lcg / (L^2)] + [2 * berat / L]$$

$$q_b = [6 * \text{berat.lcg}/(L^2)] + [\text{berat}/L]$$

$$q_d = (2 * \text{berat}/(L)) - [(6 * \text{berat.lcg}/L^2) + (\text{berat}/L)]$$

$$q_d = (\text{berat}/(L)) - (6 * \text{berat.lcg}/L^2)$$

Dimna : q_b = tinggi beban sisi belakang

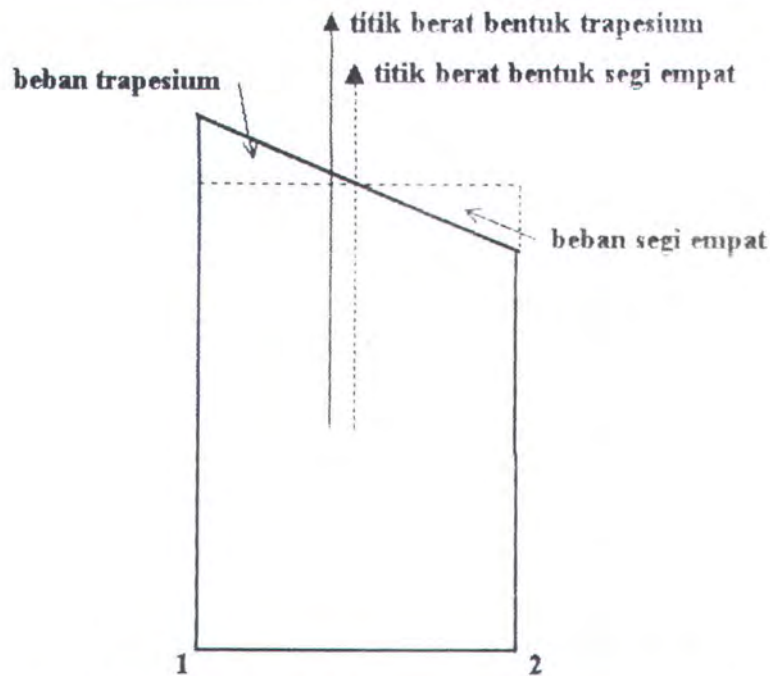
q_d = tinggi beban sisi depan

berat = berat dari LWT kapal

lcg = titik berat LWT kapal

L = panjang pembebanan.

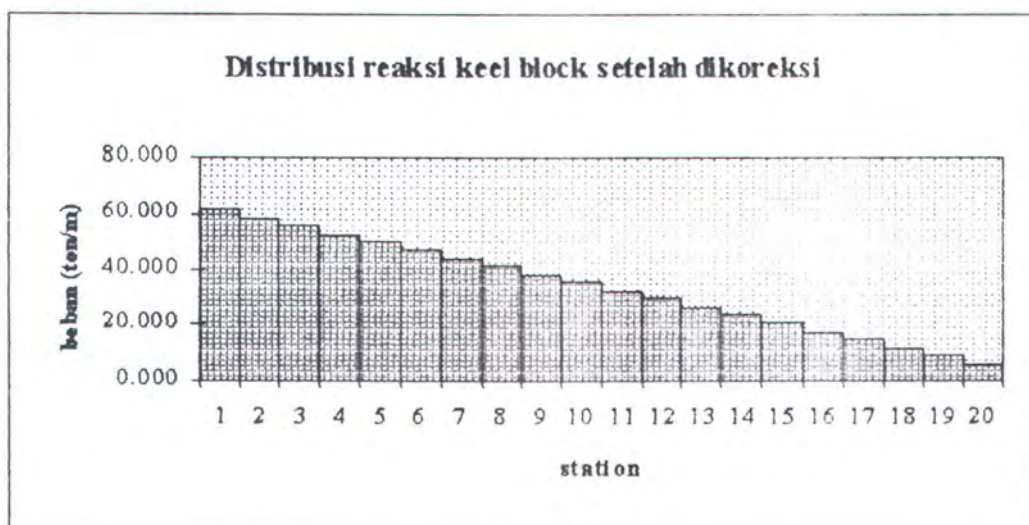
Karena hasil koreksi linear ini menghasilkan distribusi beban yang berbentuk trapesium, maka titik berat beban tersebut tidak terletak pada tengah station, oleh karena itu masih perlu dilakukan modifikasi penyebaran berat, sehingga hasil koreksi tersebut mendapat titik berat yang benar-benar sama dengan titik berat LWT kapal. Proses modifikasi ini hampir sama dengan pemindahan beban sebelumnya.



gambar 4.3. selisih titik berat trapesium dan segi empat

Dari hasil perhitungan koreksi titik berat dengan bentuk tangga akan menghasilkan koreksi titik berat yang kurang teliti. Distribusi reaksi keel block yang sudah dikoreksi kemudian dimasukkan ke faktor pembebanan kapal yang mempunyai arah ke atas.

Setelah dikoreksi didapat hasil distribusi beban sebagai berikut.



Setelah reaksi keel block dikoreksi maka dimasukkan kedalam faktor pembebanan dock tetapi dengan arah yang berlawanan dari pembebanan kapal.

4.3.2. Koreksi Titik LCB dock.

Beban yang bekerja pada dock sendiri $G(x)$ adalah :

$$G(x) = \text{Reaksi block koreksi } (x) + \text{Ballast } (x) + \text{LWT dock } (x)$$

Kemudian dicari titik berat beban $G(x)$ yang bekerja pada dock (l_{cg} dock), l_{cg} dock itu sendiri titik beratnya tidak tepat sama dengan l_{cb} dock, maka perlu dilakukan koreksi pada l_{cb} dock agar titiknya terletak pada satu garis vertikal.

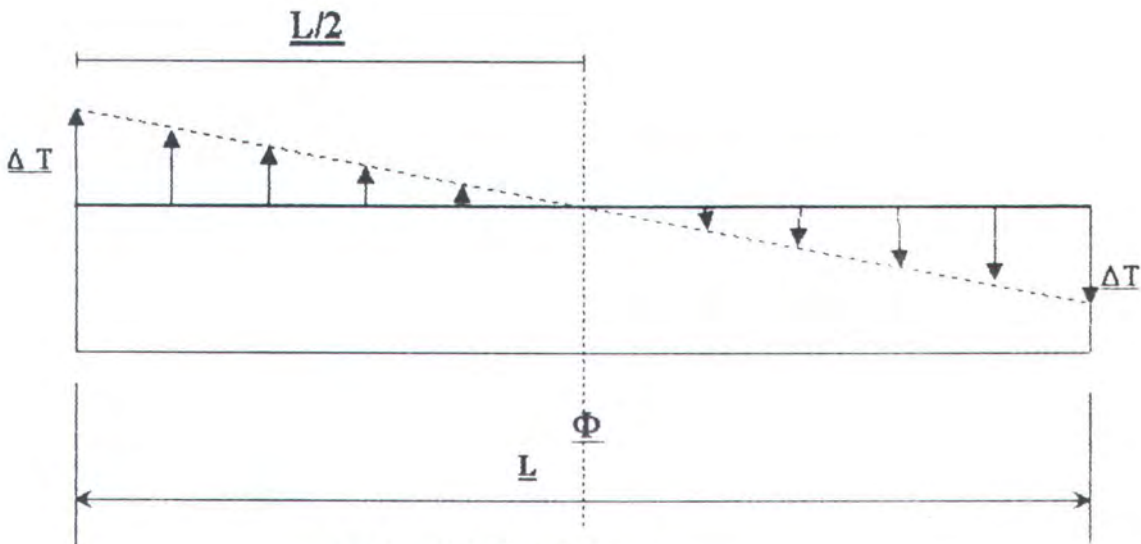
Sedang koreksi dari l_{cb} dock dilakukan secara linear juga dengan menggunakan prinsip keseimbangan.

$$\sum \text{Gaya} = 0$$

$$\text{Bouyancy/Gaya Apung} = \text{LWT Dock} + \text{Ballast Dock} + \text{Reaksi Keel Block}$$

$$\sum \text{Moment} = 0$$

$$G(X) * L_{cg} + \text{Bouyancy}(X) * L_{cb} = 0$$

Koreksi Bouyancy**gambar. 4.3. Koreksi LCB**

Berat = LWT dock + Reaksi keel block + Ballast dock

lcg = Moment berat/berat

Titik berat bouyancy awal = 0 m dari tengah floating dock

Moment trim (MT)= lcg*berat

$$-MT = Volumebaji * 1.025 * 2 * \left(\frac{2}{3}\right) * \left(\frac{L}{2}\right)$$

$$Volumebaji = \left(\frac{\Delta T}{2}\right) * \left(\frac{L}{2}\right) * B$$

$$-lcg * berat = \left(\frac{\Delta T}{2}\right) * \left(\frac{L}{2}\right) * \left(\frac{2}{3}\right) * \left(\frac{L}{2}\right) * B * 1.025 * 2$$

$$\Delta T = \frac{-6 * lcg * berat}{L^2 * B * 1.025}$$

Dicari harga T1 sampai Tn

Berat baji tiap station = ((T₁ + T₂)/2) * jarak station

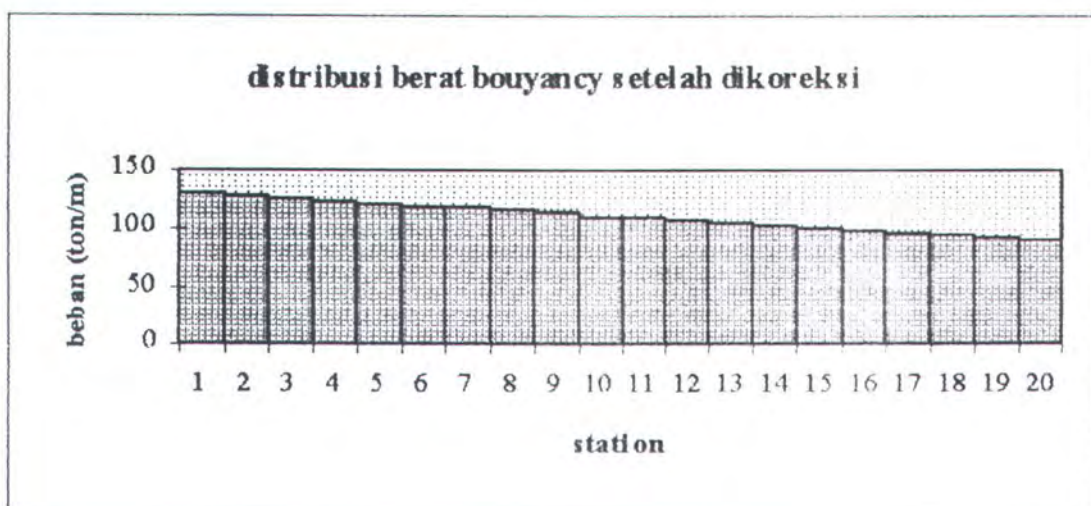
Harga Bouyancy menjadi sebagai berikut :

Bouyancy koreksi (x) = Bouyancy (x) + berat baji (x)

Harga Bouyancy koreksi inilah yang digunakan untuk menghitung pembebanan pada dock.

Dari hasil perhitungan koreksi dengan bentuk tangga tidak menghasilkan koreksi titik berat yang teliti (titik berat tidak sama).

Dari hasil perhitungan koreksi bouyancy ini kita dapatkan sarat depan dan belakang, sehingga kita tahu besar trimnya.



4.4. PERHITUNGAN DEFLEKSI FLOATING DOCK DAN KAPAL.

4.4.1. Defleksi Kapal.

Dari data diatas dicari beban-beban yang bekerja pada dock dan kapal $F(x)$.

$$F(x)_{\text{kapal}} = \text{Reaksi keel block koreksi } (x) - LWT_{\text{kapal}} (x)$$

Dari beban yang bekerja tersebut dicari harga gaya lintang $V(x)$, Moment $M(x)$, slope $q(x)$ dan defleksi $w(x)$.

$$V_{\text{kapal } i = x} = \sum_{i=0}^{x-1} (q_{\text{kapal } i, i+1} * l)$$

Dimana : $V_{\text{kapal } i = x}$ = harga gaya lintang kapal pada station ke x.

$q_{\text{kapal } i, i+1}$ = harga beban merata kapal pada station ke i sampai
i+1

l = jarak station

$$M_{\text{kapal } i = x} = \sum_{i=0}^x \left(\left(\frac{V_{\text{kapal } i} + V_{\text{kapal } i+1}}{2} \right) * l \right)$$

Dimana : $M_{\text{kapal } i = x}$ = harga momen lengkung kapal pada station ke x.

$V_{\text{kapal } i}$ = harga gaya lintang kapal pada station ke i

$V_{\text{kapal } i+1}$ = harga gaya lintang kapal pada station ke i + 1

$$\theta_{\text{kapal } i = x} = \sum_{i=0}^x \frac{1}{E I_{\text{kapal } i}} \left(\left(\frac{M_{\text{kapal } i} + M_{\text{kapal } i+1}}{2} \right) * l \right)$$

Dimana : $\theta_{\text{kapal } i = x}$ = harga slope kapal pada station ke x.

$M_{\text{kapal } i}$ = harga momen lengkung kapal pada station ke i

$M_{\text{kapal } i+1}$ = harga momen lengkung kapal pada station ke i + 1

E = Modulus Elastistas baja ($200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$)

$I_{\text{kapal } i}$ = Inertia kapal pada station ke i (m^4)

$$W_{\text{kapal } i = x} = \sum_{i=0}^x \left(\left(\frac{\theta_{\text{kapal } i} + \theta_{\text{kapal } i+1}}{2} \right) * l \right)$$

Dimana : $W_{\text{kapal } i = x}$ = harga defleksi kapal pada station ke x.

$\theta_{\text{kapal } i}$ = harga slope kapal pada station ke i

$$\theta_{\text{kapal } i+1} = \text{harga slope kapal pada station ke } i+1$$

4.4.2. Defleksi Floating Dock.

$$F(x)_{\text{dock}} = \text{Bouyancy koreksi}(x) - \text{Reaksi block}(x) - \text{LWT}_{\text{dock}}(x) - \text{Ballast}(x)$$

$$V_{\text{dok } i=x} = \sum_{i=0}^{x-1} (q_{\text{dok } i, i+1} * l)$$

Dimana : $V_{\text{dok } i=x}$ = harga gaya lintang dok pada station ke x.

$q_{\text{dok } i, i+1}$ = harga beban merata dok pada station ke i sampai i+1

l = jarak antara station.

$$M_{\text{dok } i=x} = \sum_{i=0}^x \left(\left(\frac{V_{\text{dok } i} + V_{\text{dok } i+1}}{2} \right) * l \right)$$

Dimana: $M_{\text{dok } i=x}$ = harga momen lengkung dok pada station ke x.

$V_{\text{dok } i}$ = harga gaya lintang dok pada station ke i

$V_{\text{dok } i+1}$ = harga gaya lintang dok pada station ke i + 1

$$\theta_{\text{dok } i=x} = \sum_{i=0}^x \frac{1}{E I_{\text{dok } i}} \left(\left(\frac{M_{\text{dok } i} + M_{\text{dok } i+1}}{2} \right) * l \right)$$

Dimana : $\theta_{\text{dok } i=x}$ = harga slope dok pada station ke x.

$M_{\text{dok } i}$ = harga momen lengkung dok pada station ke i

$M_{\text{dok } i+1}$ = harga momen lengkung dok pada station ke i + 1

$I_{\text{dok } i}$ = Inertia dokl pada station ke i (m^4)

E = Modulus Elastistas baja ($200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$)

$$W_{\text{dok } i = x} = \sum_{i=0}^x \left(\left(\frac{\theta_{\text{dok } i} + \theta_{\text{dok } i+1}}{2} \right) * 1 \right)$$

Dimana : $W_{\text{dok } i = x}$ = harga defleksi dok pada station ke x.

$\theta_{\text{dok } i}$ = harga slope pada station ke i

$\theta_{\text{dok } i+1}$ = harga slope pada station ke i + 1

4.4.3. Selisih Defleksi.

Dari hasil kedua defleksi tersebut dicari selisihnya

$$w(x) = w_{\text{dock}}(x) - w_{\text{kapal}}(x)$$

Dari hasil selisih defleksi tersebut kita dapat kan matrik kolom defleksi $\{W(x)\}$

4.5. Mencari Harga Reaksi Keel Block dengan Methode Newton Raphson untuk Mendapatkan Selisih Defleksi yang Kecil.

Pada batasan masalah diatas telah disebutkan bahwa keel block dianggap tidak mengalami defleksi, sehingga defleksi dock dan defleksi kapal harus sama. Agar harga kedua defleksi tersebut harus sama, maka berapa sebenarnya harga gaya reaksi keel block tiap-tiap station/block. Salah satu methode untuk mencari harga variabel (reaksi keel block) yang banyak dengan dua persamaan atau lebih adalah menggunakan Methode Newton Raphson dengan variabel banyak. Literatur yang menyebutkan Methode ini sangat jarang dijumpai hanya pada text book tertentu.

Newton Raphson memberikan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \frac{dw_1(x_1)}{dx_1} & \frac{dw_1(x_2)}{dx_2} & \frac{dw_1(x_3)}{dx_3} & \frac{dw_1(x_4)}{dx_4} & \dots & \frac{dw_1(x_k)}{dx_k} \\ \frac{dw_2(x_1)}{dx_1} & \frac{dw_2(x_2)}{dx_2} & \frac{dw_2(x_3)}{dx_3} & \frac{dw_2(x_4)}{dx_4} & \dots & \frac{dw_2(x_k)}{dx_k} \\ \frac{dw_3(x_1)}{dx_1} & \frac{dw_3(x_2)}{dx_2} & \frac{dw_3(x_3)}{dx_3} & \frac{dw_3(x_4)}{dx_4} & \dots & \frac{dw_3(x_k)}{dx_k} \\ \frac{dw_4(x_1)}{dx_1} & \frac{dw_4(x_2)}{dx_2} & \frac{dw_4(x_3)}{dx_3} & \frac{dw_4(x_4)}{dx_4} & \dots & \frac{dw_4(x_k)}{dx_k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{dw_i(x_1)}{dx_1} & \frac{dw_i(x_2)}{dx_2} & \frac{dw_i(x_3)}{dx_3} & \frac{dw_i(x_4)}{dx_4} & \dots & \frac{dw_i(x_k)}{dx_k} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \dots \\ h_k \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} w_1(x_i) \\ w_2(x_i) \\ \dots \\ w_n(x_i) \end{Bmatrix}$$

$\frac{dw_1(x_4)}{dx_4}$ artinya defleksi 1(kesatu) akibat perubahan harga reaksi keel block ke 4

(empat) yaitu harga reaksi keel block $X_4 + \Delta X_4$, sedangkan harga reaksi keel block lainnya tetap, jadi dengan mengadakan perubahan satu reaksi keel block kita dapatkan satu kolom harga matrik jacobian.

4.5.1. Matrik Jacobian.

$$\frac{dw_1(x_4)}{dx_4} \text{ mempunyai arti } \frac{w_1(x_4 + \Delta x_4) - w_1(x_4)}{\Delta x_4}$$

Dimana :

$w_1(x_4)$ adalah selisih defleksi dock dan defleksi kapal pada station 1

$w_1(x_4 + \Delta x_4)$ adalah selisih defleksi dock dan defleksi kapal pada station 1 bila

harga reaksi keel block pada station 4 ditambah dengan Δx_4

sedangkan harga reaksi keel block yang lainnya tetap, yaitu harga keel block yang telah dikoreksi.

Δx_4 adalah sama dengan $x_4 * 1.10^{-7}$

Karena w_1 adalah $w_{dock\ 1} - w_{kapal\ 1}$ maka :

$$\frac{dw_1(x_4)}{dx_4} = \frac{w_{dock\ 1}(x_4 + \Delta x_4) - w_{dock\ 1}(x_4)}{\Delta x_4} - \frac{w_{kapal\ 1}(x_4 + \Delta x_4) - w_{kapal\ 1}(x_4)}{\Delta x_4}$$

Dimana :

$w_{dock\ 1}(x_4 + \Delta x_4)$ adalah defleksi dock pada station 1 bila harga reaksi keel block pada station ke 4 ditambah dengan Δx_4 , tetapi harga reaksi keel block lainnya tetap.

$w_{dock\ 1}(x_4)$ adalah defleksi dock pada station 1.

$w_{kapal\ 1}(x_4 + \Delta x_4)$ adalah defleksi kapal pada station 1 bila harga reaksi keel block pada station ke 4 ditambah dengan Δx_4 , tetapi harga reaksi keel block lainnya tetap.

$w_{kapal\ 1}(x_4)$ adalah defleksi kapal pada station 1.

Untuk membentuk matrik jacobian dilakukan sebagai berikut :

- Reaksi keel block ke 1 dilakukan penambahan Δx_1 sedang pada reaksi keel block yang lainnya tetap, hal ini dilakukan pada kapal dan dock. Kemudian dicari harga defleksi akibat dari perubahan tersebut dari station 1 sampai dengan station ke 20.

$$\begin{array}{ll} \text{Hitung} & w_{dock\ 1}(x_1 + \Delta x_1) \dots\dots\dots w_{dock\ 20}(x_1 + \Delta x_1) \\ & w_{kapal\ 1}(x_1 + \Delta x_1) \dots\dots\dots w_{kapal\ 20}(x_1 + \Delta x_1) \end{array}$$

- Masing-masing harga defleksi diatas dikurangi dengan harga defleksi tanpa ada perubahan penambahan reaksi keel block.

Hitung

$$w_{dock\ 1}(x_1 + \Delta x_1) - w_{dock\ 1}(x_1) \dots\dots\dots w_{dock\ 20}(x_1 + \Delta x_1) - w_{dock\ 20}(x_{20})$$

$$w_{kapal\ 1}(x_1 + \Delta x_1) - w_{kapal\ 1}(x_1) \dots\dots\dots w_{kapal\ 20}(x_1 + \Delta x_1) - w_{kapal\ 20}(x_{20})$$

- Harga selisih tersebut diatas dibagi dengan ΔX_1 , ini dilakukan pada dock dan kapal.

Hitung :

$$\frac{w_{dock\ 1}(x_1 + \Delta x_1) - w_{dock\ 1}(x_1)}{\Delta x_1} \dots\dots\dots \frac{w_{dock\ 20}(x_1 + \Delta x_1) - w_{dock\ 20}(x_{20})}{\Delta x_1}$$

$$\frac{w_{kapal\ 1}(x_1 + \Delta x_1) - w_{kapal\ 1}(x_1)}{\Delta x_1} \dots\dots\dots \frac{w_{kapal\ 20}(x_1 + \Delta x_1) - w_{kapal\ 20}(x_{20})}{\Delta x_1}$$

- Dari harga tersebut di atas , harga dock dikurangi kapal.

Hitung :

$$\left(\frac{w_{dock\ 1}(x_1 + \Delta x_1) - w_{dock\ 1}(x_1)}{\Delta x_1} - \frac{w_{kapal\ 1}(x_1 + \Delta x_1) - w_{kapal\ 1}(x_1)}{\Delta x_1} \right) \text{ s/d station 20}$$

Dengan demikian kita telah dapatkan harga satu kolom matrik jacobian, hal tersebut di atas diulangi sampai perubahan reaksi keel block ke 20. Sehingga akan kita dapatkan matrik jacobian $[J]$.

Dari matrik jacobian diatas kemudian di inverskan, maka kita dapatkan matrik jacobian invers.

$$[J] \Rightarrow [J]^{-1}$$

4.5.2. Harga Reaksi Keel Block baru.

Untuk mendapatkan harga reaksi keel block baru, seperti telah diuraikan diatas, reaksi keel block baru didapat dari pengurangan reaksi keel block lama oleh hasil perkalian matrik jacobian invers dengan matrik kolom selisih defleksi.

Hitung :

$$\{X_{k+1}\} = \{X_k\} - [J]^{-1} \{w\}$$

Untuk iterasi pertama harga $\{X_k\}$ adalah harga reaksi keel block awal yang telah dikoreksi, tetapi untuk selanjutnya harga reaksi keel block baru menjadi reaksi keel block lama.

$$\{X_{k+1}\} \Rightarrow \{X_k\}$$

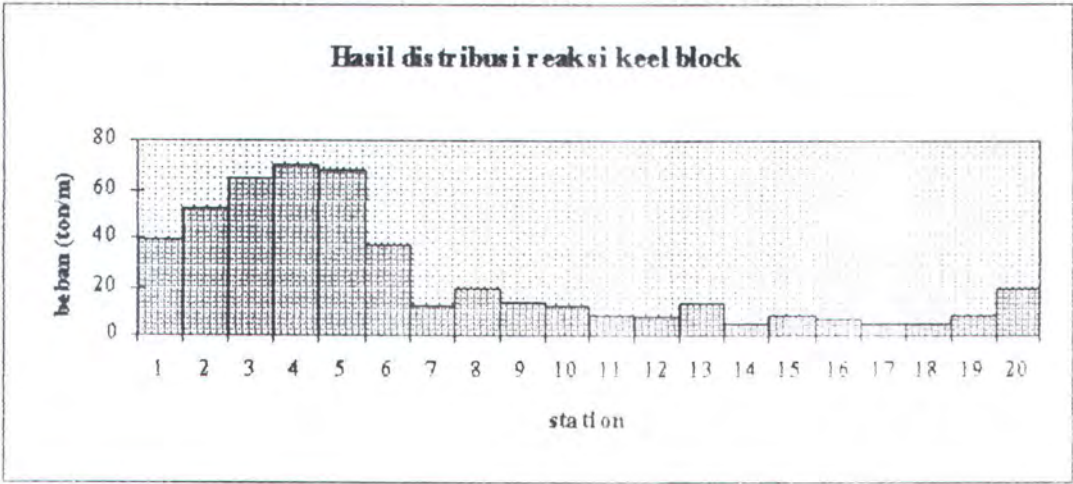
Petunjuk bahwa harga reaksi keel block sudah memenuhi persyaratan bahwa akibat reaksi keel block tersebut defleksi dock dan defleksi kapal adalah sama atau

mendekati sama. Jika harga $T = \sqrt{\sum_{k=1}^{20} (h_k^2)} \leq 0.01$

Dimana :

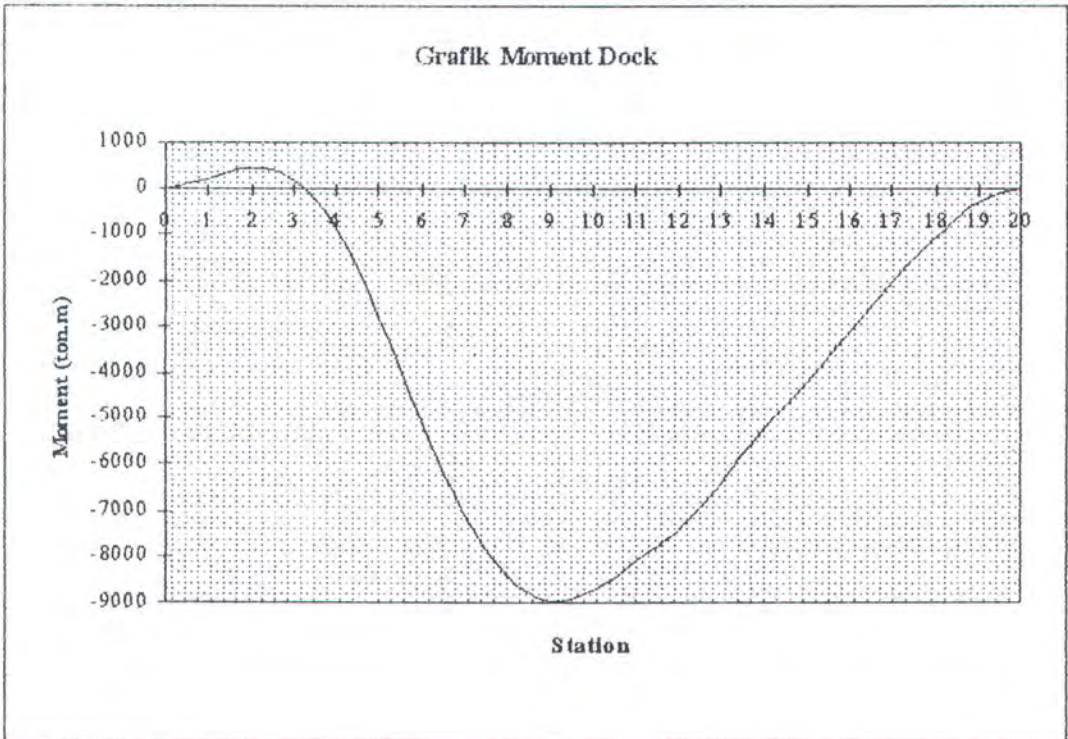
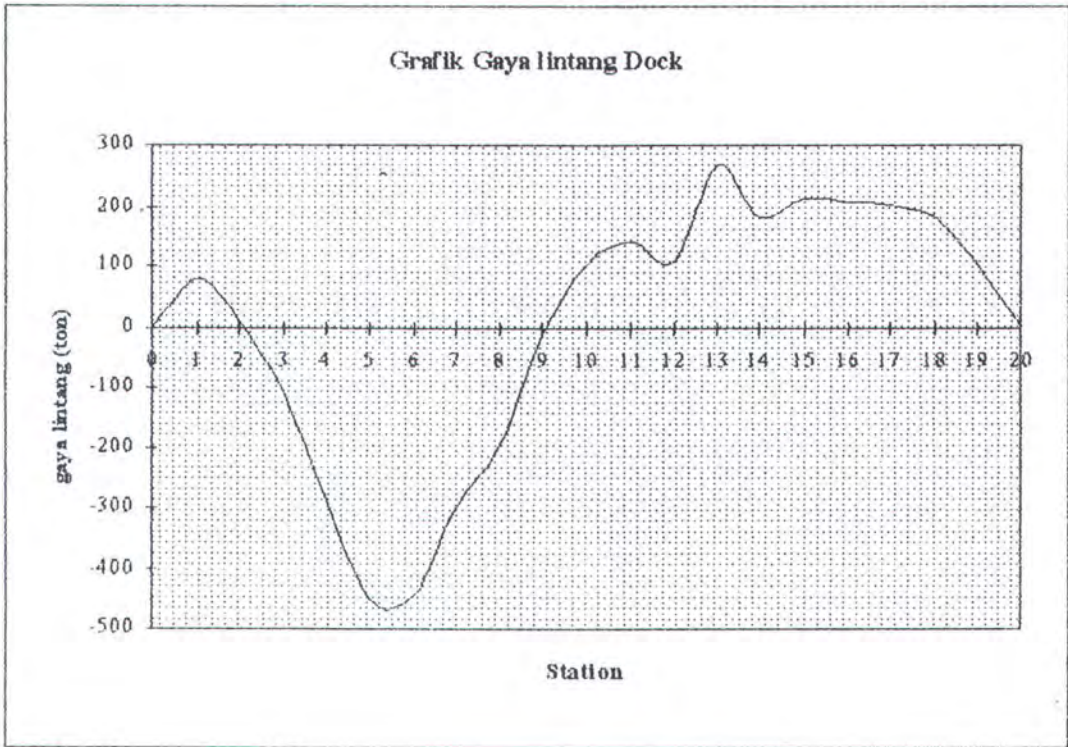
$$h_k = \{X_{k+1}\} - \{X_k\}$$

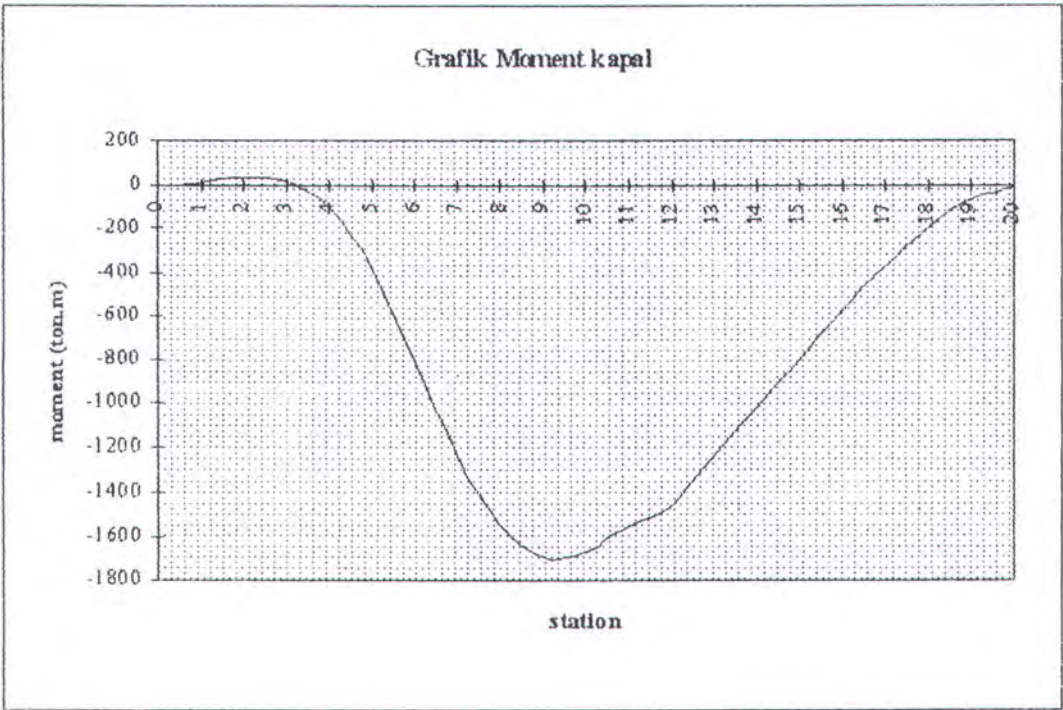
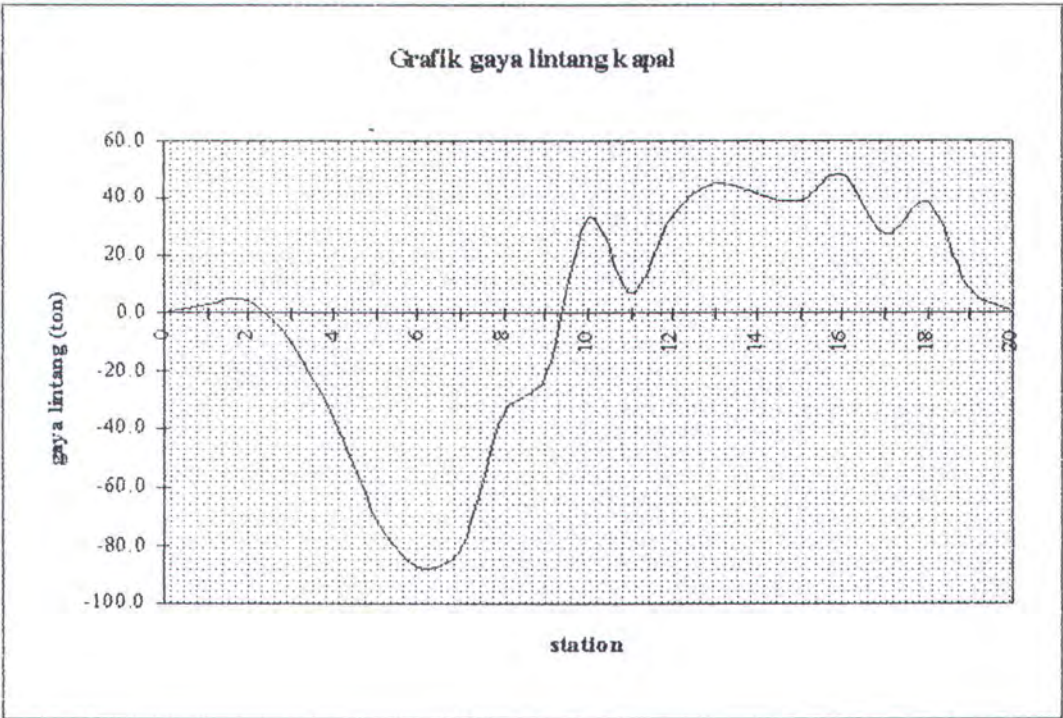
Harga T semakin kecil maka selisih defleksi akan semakin kecil pula.

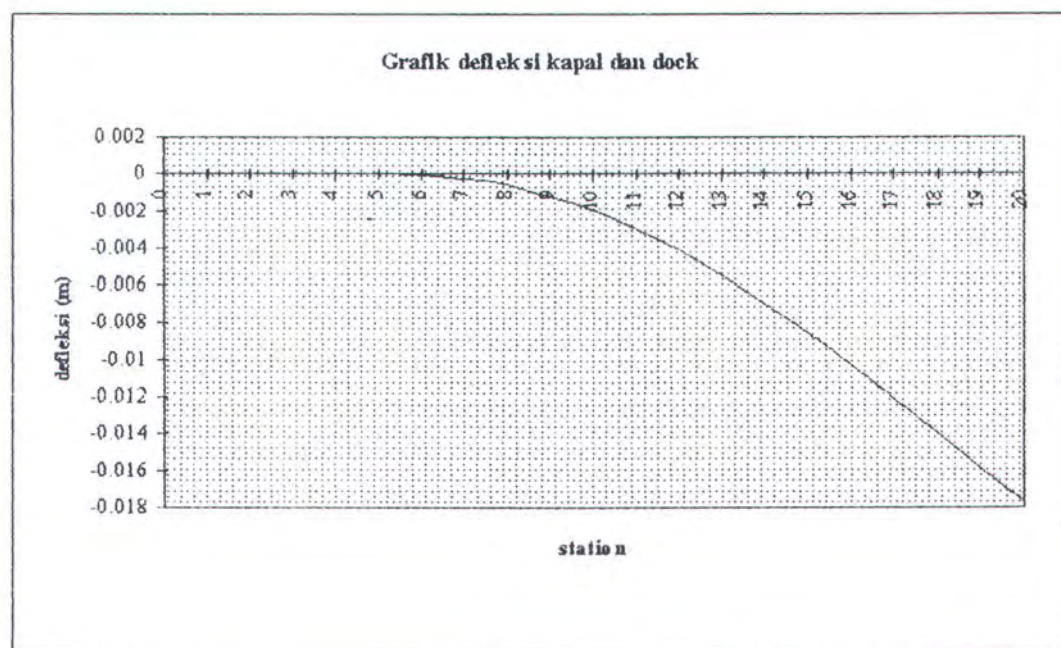


4.5.3. Hasil Defleksi dan Trim.

| SELISIH DEFLEKSI DOCK DAN KAPAL | | | | |
|---------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Station | Reaksi keel block | Defleksi dock | Defleksi kapal | Selisih Defleksi |
| 1 | 38.62830373981720 | 1.11625757E-07 | 1.11625757E-07 | 2.686683E-21 |
| 2 | 52.46381112534460 | 6.86850219E-07 | 6.86850219E-07 | 1.863472E-20 |
| 3 | 64.01803044467020 | 1.96263639E-06 | 1.96263639E-06 | 6.522154E-20 |
| 4 | 69.58456256421320 | 3.23311457E-06 | 3.23311457E-06 | 1.592422E-19 |
| 5 | 67.90229387955400 | 2.11958210E-06 | 2.11958210E-06 | 3.261077E-19 |
| 6 | 37.65155838996820 | -5.54340791E-06 | -5.54340791E-06 | 6.039345E-19 |
| 7 | 12.10464626571470 | -2.48262358E-05 | -2.48262358E-05 | 1.040156E-18 |
| 8 | 19.81530240807970 | -6.03079512E-05 | -6.03079512E-05 | 1.666961E-18 |
| 9 | 13.87220602128330 | -1.15128621E-04 | -1.15128621E-04 | 2.547875E-18 |
| 10 | 12.39998861546840 | -1.90631737E-04 | -1.90631737E-04 | 3.686287E-18 |
| 11 | 8.30121478971181 | -2.86497366E-04 | -2.86497366E-04 | 5.149960E-18 |
| 12 | 7.01099050108582 | -4.01438263E-04 | -4.01438263E-04 | 6.830474E-18 |
| 13 | 12.99189701231510 | -5.33702919E-04 | -5.33702919E-04 | 8.890458E-18 |
| 14 | 4.29181741840039 | -6.80997388E-04 | -6.80997388E-04 | 1.116728E-17 |
| 15 | 8.45448179296962 | -8.40678445E-04 | -8.40678445E-04 | 1.387779E-17 |
| 16 | 6.63742443234596 | -1.01012237E-03 | -1.01012237E-03 | 1.691355E-17 |
| 17 | 4.92511741586285 | -1.18674559E-03 | -1.18674559E-03 | 2.016616E-17 |
| 18 | 5.04252128508882 | -1.36803338E-03 | -1.36803338E-03 | 2.385245E-17 |
| 19 | 8.79970948324083 | -1.55175081E-03 | -1.55175081E-03 | 2.797242E-17 |
| 20 | 19.90412241486460 | -1.73631587E-03 | -1.73631587E-03 | 3.295975E-17 |







Dari hasil program didapat harga :

SARAT BELAKANG = 3.565 M

SARAT DEPAN = 3.235 M

Jadi Floating Dock mengalami Trim sebesar 0.330 M.

BAB V

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN.

Berdasarkan dari hasil program disimpulkan bahwa :

1. Methode Newton Raphson untuk mencari distribusi reaksi keel block sebagai komponen distribusi berat kapal dan dock yang akan menghasilkan defleksi dock dan kapal sama, memang sangat baik. Tetapi penentuan harga ΔX ini masih belum ada patokan, berapa sebenarnya harga ΔX yang bisa mengakibatkan hasilnya dapat konvergen.
2. Jarak antar station akan lebih baik bila sangat kecil.
3. Karena dalam program ini kita bekerja dengan angka yang sangat kecil, maka hasil koreksi titik berat akan sangat berpengaruh pada hasil akhir.

5.2. SARAN

Pada pembuatan program ini jumlah station hanya 20, untuk lebih teliti maka jumlah station disesuaikan dengan jumlah keel block yang ada yaitu 120.

DAFTAR PUSTAKA

1. Al-Khafaj A.W. and Tooley R.J., **Numerical Methodes In Engineeing Practice**, CBS College Publishing, New York, 1986.
2. Jogianto H.M, **Turbo Pascal**, Jilid 1 &2, Andi Offset, Yogyakarta, 1995
3. Munadi S. DR. **Perhitungan Matrik Fortran**, Andi Offset, Jakarta, September 1990.
4. Soegeng R, **Komputer Numerik Dengan Turbo Pascal**, Andi Offset, Yogyakarta, 1993.
5. Popov E.P, **Mekanika Teknik**, Zainul Astamar, Erlangga, Jakarta, 1989.
6. _____, **Operational Manual**, PT. Pal Indonesia, Surabaya, 1989.

LAMPIRAN

MODULUS FLOATING DOCK PARE-PARE TENGAH KAPAL

| NO | NAMA BAGIAN | TINGGI h (mm) | LEBAR b (mm) | LUAS F (mm ²) | LENGAN a (m) | MOMEN F a (mm ³) | Modulus F a ² (mm ⁴) | Ixx (mm ⁴) | Jumlah | Ix | Iy | Ixy | sudut |
|-------|--------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|--------|-------------|-----------------|-----|--------|
| 1 | PONTON | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 | Bottom Plate | 10 | 26000 | 260000 | 5 | 1300000 | 6500000 | 2186868.667 | 1 | | | | |
| 1.2 | Plate Sisi | 3649.658 | 10 | 36496.58 | 1805.00 | 65876317.54 | 2.37814E+11 | 87183458146 | 2 | 304138.125 | 40511197848.4 | 0 | 90.537 |
| 1.3 | Side Girder I | 3000 | 8 | 24000 | 1505 | 36120000 | 1.08721E+11 | 36000000000 | 2 | | | | |
| 1.4 | Side Girder II | 3096 | 8 | 24768 | 1553 | 38464704 | 1.19471E+11 | 39567771848 | 2 | | | | |
| 1.5 | Tank Top | 13601.47 | 12 | 163217.6 | 3700 | 603905290.6 | | 1497233953733 | 1 | 1956611.753 | 2518272044115.1 | 0 | 0.881 |
| 1.6 | Pembujur Sisi | | | | | | | | | | | | |
| 1.6.1 | - pembujur sisi 1 | | | | | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 800.5 | 810675 | 973620675 | 18225 | 2 | | | | |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 560 | 453600 | 508032000 | 1093500 | 2 | | | | |
| 1.6.2 | - pembujur sisi 2 | | | | | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 1200.5 | 1620675 | 3691240675 | 18225 | 2 | | | | |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 1160 | 939600 | 2179872000 | 1093500 | 2 | | | | |
| 1.6.3 | - pembujur sisi 3 | | | | | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 1800.5 | 2430675 | 8752880675 | 18225 | 2 | | | | |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 1760 | 1425600 | 5018112000 | 1093500 | 2 | | | | |
| 1.6.4 | - pembujur sisi 4 | | | | | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 2400.5 | 3240675 | 15558480675 | 18225 | 2 | | | | |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 2360 | 1911600 | 9022752000 | 1093500 | 2 | | | | |
| 1.6.5 | - pembujur sisi 5 | | | | | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 3000.5 | 4050675 | 24308100675 | 18225 | 2 | | | | |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 2960 | 2397600 | 14193792000 | 1093500 | 2 | | | | |
| 1.7 | Pembujur Side Girder I | | | | | | | | | | | | |
| 1.7.1 | - pembujur side girder 1 | | | | | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 800.5 | 810675 | 973620675 | 18225 | 2 | | | | |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 560 | 453600 | 508032000 | 1093500 | 2 | | | | |
| 1.7.2 | - pembujur side girder 2 | | | | | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 3000.5 | 4050675 | 24308100675 | 18225 | 2 | | | | |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 1160 | 939600 | 2179872000 | 1093500 | 2 | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-------|--------------------------|-----|-----|------|--------|---------|-------------|---------|---|
| I.7 | Pembujur Side Girder I | | | | | | | | |
| I.7.1 | - pembujur side girder 1 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 600.5 | 810675 | 973620675 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 560 | 453600 | 508032000 | 1093500 | 2 |
| I.7.2 | - pembujur side girder 2 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 3000.5 | 4050675 | 24308100675 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 1160 | 939600 | 2179872000 | 1093500 | 2 |
| I.8 | Pembujur Side Girder II | | | | | | | | |
| I.8.1 | - pembujur side girder 1 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 600.5 | 810675 | 973620675 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 560 | 453600 | 508032000 | 1093500 | 2 |
| I.8.2 | - pembujur side girder 2 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 1200.5 | 1620675 | 3891240675 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 1160 | 939600 | 2179872000 | 1093500 | 2 |
| I.8.3 | - pembujur side girder 3 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 1800.5 | 2430675 | 8752860675 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 1760 | 1425600 | 5018112000 | 1093500 | 2 |
| I.8.4 | - pembujur side girder 4 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 2400.5 | 3240675 | 15558480675 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 2360 | 1911600 | 9022752000 | 1093500 | 2 |
| I.8.5 | - pembujur side girder 5 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 3000.5 | 4050675 | 24308100675 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 2960 | 2397600 | 14193792000 | 1093500 | 2 |
| I.9 | Bottom Frame | | | | | | | | |
| | WEB | 200 | 9 | 1800 | 3700 | 6660000 | 24642000000 | 6000000 | 1 |
| | FLENS | 14 | 90 | 1260 | 3593 | 4527180 | 16266157740 | 20580 | 1 |
| I.10 | Deck Beam | | | | | | | | |
| | WEB | 200 | 9 | 1800 | 3700 | 6660000 | 24642000000 | 6000000 | 1 |
| | FLENS | 14 | 90 | 1260 | 3590.5 | 4524030 | 16243529715 | 20580 | 1 |

| | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|------|-----|-------|--------|-----------|-------------|-------------|---|
| SIDE WALL | | | | | | | | | |
| II.1 | Diding Luar | 6300 | 10 | 63000 | 6750 | 425250000 | 5.74088E+12 | 4.16745E+11 | 2 |
| II.2 | Pembujur Dinding Luar | | | | | | | | |
| II.2.1 | Pembujur dinding luar 1 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 4200.5 | 5670675 | 47639340675 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 4151 | 3362310 | 27913897620 | 1093500 | 2 |
| II.2.2 | Pembujur dinding luar 2 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 4830.5 | 6521175 | 63001071675 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 4781 | 3872810 | 37029896820 | 1093500 | 2 |
| II.2.3 | Pembujur dinding luar 3 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 5460.5 | 7371675 | 80506062675 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 5411 | 4382910 | 47431852020 | 1093500 | 2 |
| II.2.4 | Pembujur dinding luar 4 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 6090.5 | 8222175 | 1.00154E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 6041 | 4893210 | 59119763220 | 1093500 | 2 |
| II.2.5 | Pembujur dinding luar 5 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 6720.5 | 9072675 | 1.21946E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 6671 | 5403510 | 72093630420 | 1093500 | 2 |
| II.2.6 | Pembujur dinding luar 6 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 7350.5 | 9923175 | 1.45881E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 7301 | 5913810 | 86353453620 | 1093500 | 2 |
| II.2.7 | Pembujur dinding luar 7 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 7980.5 | 10773675 | 1.71959E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 7931 | 6424110 | 1.01899E+11 | 1093500 | 2 |
| II.2.8 | Pembujur dinding luar 8 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 8610.5 | 11624175 | 2.0018E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 8561 | 6934410 | 1.18731E+11 | 1093500 | 2 |
| II.2.9 | Pembujur dinding luar 9 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 9240.5 | 12474675 | 2.30544E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 9191 | 7444710 | 1.36849E+11 | 1093500 | 2 |
| II.3 | Dinding Dalam | 6300 | 10 | 63000 | 6750 | 425250000 | 5.74088E+12 | 4.16745E+11 | 2 |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------------------------|------|-----|-------|--------|-----------|-------------|-------------|---|
| II.3 | Dinding Dalam | 6300 | 10 | 63000 | 6750 | 425250000 | 5.74088E+12 | 4.16745E+11 | 2 |
| II.4 | Pembujur Dinding Dalam | | | | | | | | |
| II.4.1 | Pembujur Dinding Dalam 1 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 4200.5 | 5670675 | 47639340675 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 4151 | 3362310 | 27913897620 | 1093500 | 2 |
| II.4.2 | Pembujur Dinding Dalam 2 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 4830.5 | 6521175 | 63001071675 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 4781 | 3872610 | 37029896820 | 1093500 | 2 |
| II.4.3 | Pembujur Dinding Dalam 3 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 5460.5 | 7371675 | 80506062675 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 5411 | 4382910 | 47431852020 | 1093500 | 2 |
| II.4.4 | Pembujur Dinding Dalam 4 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 6090.5 | 8222175 | 1.00154E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 6041 | 4893210 | 59119763220 | 1093500 | 2 |
| II.4.5 | Pembujur Dinding Dalam 5 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 6720.5 | 9072675 | 1.21946E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 6671 | 5403510 | 72093630420 | 1093500 | 2 |
| II.4.6 | Pembujur Dinding Dalam 6 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 7350.5 | 9923175 | 1.45881E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 7301 | 5913810 | 86353453620 | 1093500 | 2 |
| II.4.7 | Pembujur Dinding Dalam 7 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 7980.5 | 10773675 | 1.71959E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 7931 | 6424110 | 1.01899E+11 | 1093500 | 2 |
| II.4.8 | Pembujur Dinding Dalam 8 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 8610.5 | 11624175 | 2.0018E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 8561 | 6934410 | 1.18731E+11 | 1093500 | 2 |
| II.4.9 | Pembujur Dinding Dalam 9 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 9240.5 | 12474675 | 2.30544E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 9191 | 7444710 | 1.36849E+11 | 1093500 | 2 |

| | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------------------|------|------|-----------------|---------|------------|-------------------|--------------------|----------------|
| SAFETY DECK | | | | | | | | | |
| III.1 | SAFETY DECK | 10 | 4050 | 40500 | 9910 | 401355000 | 7.95486E+12 | 675000 | 2 |
| III.2 | Deck longitudinal | | | | | | | | |
| | WEB | 150 | 9 | 1350 | 9835 | 13277250 | 2.61164E+11 | 5062500 | 2 |
| | FLENS | 9 | 90 | 810 | 9755.5 | 7901955 | 1.54175E+11 | 10935 | 2 |
| III.3 | Dinding Luar | 3900 | 10 | 39000 | 11860 | 462540000 | 1.09714E+13 | 98865000000 | 2 |
| III.4 | Pembujur Dinding Luar | | | | | | | | |
| III.4.1 | Pembujur Dinding Luar 1 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 10560 | 14256000 | 3.01087E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 10515 | 8517150 | 1.79116E+11 | 1093500 | 2 |
| III.4.2 | Pembujur Dinding Luar 2 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 11210 | 15133500 | 3.39293E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 11165 | 9043650 | 2.01945E+11 | 1093500 | 2 |
| III.4.3 | Pembujur Dinding Luar 3 | | | | | | | | |
| | WEB | 9 | 150 | 1350 | 11860 | 16011000 | 3.79781E+11 | 18225 | 2 |
| | FLENS | 90 | 9 | 810 | 11815 | 9570150 | 2.26143E+11 | 1093500 | 2 |
| III.4.4 | Pembujur Dinding Luar 4 | | | | | | | | |
| | WEB | 7 | 125 | 875 | 12510 | 10946250 | 2.73875E+11 | 7145.833333 | 2 |
| | FLENS | 75 | 7 | 525 | 12472.5 | 6548062.5 | 1.63341E+11 | 492187.5 | 2 |
| III.4.5 | Pembujur Dinding Luar 5 | | | | | | | | |
| | WEB | 7 | 125 | 875 | 13160 | 11515000 | 3.03075E+11 | 7145.833333 | 2 |
| | FLENS | 75 | 7 | 525 | 13122.5 | 6889312.5 | 1.8081E+11 | 492187.5 | 2 |
| TOP DECK | | | | | | | | | |
| III.5 | TOP DECK | 10 | 4000 | 40000 | 13810 | 552400000 | 1.52573E+13 | 666666.6667 | 2 |
| III.6 | Longitudinal Top Deck 1 | | | | | | | | |
| | WEB | 125 | 7 | 875 | 13747.5 | 12029062.5 | 3.30739E+11 | 2278645.833 | 2 |
| | FLENS | 7 | 75 | 525 | 13681.5 | 7182787.5 | 1.96543E+11 | 4287.5 | 2 |
| | Longitudinal Top Deck 2 | | | | | | | | |
| | WEB | 456 | 10 | 4560 | 13582 | 61933920 | 1.68237E+12 | 158031360 | 2 |
| | FLENS | 16 | 150 | 2400 | 13346 | 32030400 | 8.54955E+11 | 102400 | 2 |
| | | | | Σ (F) | | | Σ (F.a) | Σ (F.a^2) | Σ (Ioo) |
| | | | | 844702.2 | | | 3583006602 | 5.61368E+13 | 2.6E+12 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------|---|---------------------------------------|---|-----------------------------|--------------------|-------------|---------------|-------------|---------------------|
| Z1 | = | $\frac{\Sigma (F \cdot a)}{\Sigma F}$ | = | $\frac{3.58E+09}{844702.2}$ | = | 4241.739 mm | | 424.1739293 | Cm |
| Z2 | = | H - Z1 | = | 13810 | - | 4241.739 | = | 9568.260707 | mm = 956.8261 Cm |
| box | = | $\Sigma (F \cdot a^2)$ | + | $\Sigma (I_{oo})$ | = | 5.61E+13 | + | 2.6E+12 | = 58.7E+12 mm^2 |
| | | | | | | | | | = 5.87E+11 Cm^2 |
| I _{na} | = | box | - | $\Sigma (F) \cdot Z$ | = | 58.7E+12 | - | 8082331071 | = 58.7E+12 mm^4 |
| | | | | | | | | | = 5.87E+09 Cm^4 |
| | | | | | | | | | 58.70127 m^4 |
| | | | W | = | $\frac{I_{na}}{Z}$ | = | 6.13E+09 mm^3 | | |
| | | | | | | | | 6134998.601 | Cm^3 |
| | | | | | | | | 6.134998601 | m^3 |

SECTION FRAME- d KAPAL TANKER 6500 TON

| No | Nama bagian | lebar (Cm) | tinggi (Cm) | Luas F (Cm ²) | Jarak d (Cm) | Momen Luas F.d (Cm ³) | Momen Inertia F.d ² (Cm ⁴) | Momen Inertia Individu 1/12 b.h ³ (Cm ⁴) | Jumlah | Ix (Cm ⁴) | Iy (Cm ⁴) | Ixy (Cm ⁴) | Sudut pergeseran θ radian | Ix' |
|-----|---------------|---------------|----------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------|
| 1 | Keel plate | 1.5 | 135 | 405 | 609.5 | 246847.5 | 150761098.13 | 307546.88 | 2 | 307546.9 | 37.96875 | 0 | 1.3083333 | 307546.9 |
| 2 | Bottom plate | 1 | 225 | 450 | 674.5 | 303525 | 205676831.25 | 949218.75 | 2 | 949218.8 | 18.75 | 0 | 1.1336889 | 949218.8 |
| 3 | Side shell | 1 | 250 | 500 | 799.5 | 399750 | 538569.02 | 1302083.33 | 2 | 1302083 | 20.83333 | 0 | 0.8722222 | 1302083 |
| 4 | Center Girder | 115 | 1 | 115 | 657 | 75555 | 49639635.00 | 126739.58 | 1 | | | | | |
| 5 | Upp. Deck | 500 | 0.8 | 800 | 894.5 | 715600 | 640104200.00 | 21.33 | 2 | 21.33333 | 8333333 | 0 | 0.0872222 | 21.33333 |
| 6 | Long. Bhd. | 200 | 1 | 200 | 804.5 | 160900 | 129444050 | 666666.667 | 1 | | | | | |
| 7 | Long. Frame | | | | | | | | | | | | | |
| 7.1 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 903.25 | 22581.25 | 20396514.06 | 2.083 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 896.5 | 13447.5 | 12055683.75 | 70.313 | 2 | | | | | |
| 7.2 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 898.28 | 22457 | 20172673.96 | 2.083 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 891.5 | 13372.5 | 11921583.75 | 70.313 | 2 | | | | | |
| 7.3 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 893.28 | 22332 | 19948728.96 | 2.083 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 886.5 | 13297.5 | 11788233.75 | 70.313 | 2 | | | | | |
| 7.4 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 888.28 | 22207 | 19726033.96 | 2.083 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 881.5 | 13222.5 | 11655633.75 | 70.313 | 2 | | | | | |
| 7.5 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 883.28 | 22082 | 19504588.96 | 2.083 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 876.5 | 13147.5 | 11523783.75 | 70.313 | 2 | | | | | |
| 7.6 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 878.28 | 21957 | 19284393.96 | 2.083 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 871.5 | 13072.5 | 11392683.75 | 70.313 | 2 | | | | | |
| | | | | 2710 | | 2115353.75 | 1365534920 | 3352710.917 | | | | | | |
| | | | | Σ F | | Σ F.d | Σ F.d ² | Σ I _{oo} | | | | | | |

$$z1 = \Sigma F d / \Sigma F$$

$$= 780.5733 \text{ Cm}$$

$$z2 = H - z1 = 105.827 \text{ Cm}$$

$$I_{xx} = \Sigma F d^2 + \Sigma I_{oo} = 1368887631 \text{ Cm}^4$$

$$I_{na} = I_{xx} - \Sigma F z1^2 = 282301110 \text{ Cm}^4 = 2.823011101 \text{ m}^4$$

$$Wb = I_{na}/z2 = 2667580 \text{ Cm}^3 = 2.667580256 \text{ m}^3$$

$$Wd = I_{na}/z1 = 361659 \text{ Cm}^3 = 0.361658663 \text{ m}^3$$

SECTION FRAME- 5 KAPAL TANKER 6500 TON

| No | Nama bagian | lebar (Cm) | tinggi (Cm) | Luas F (Cm ²) | Jarak d (Cm) | Momen Luas F.d (Cm ³) | Momen Inertia F.d ² /2(Cm ⁴) | Momen Inertia Individu 1/12 b.h ³ (Cm ⁴) | Jumlah | ix (Cm ⁴) | Iy (Cm ⁴) | Ixy (Cm ⁴) | Sudut pergeseran θ radian | ix' |
|-----|------------------|---------------|----------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|----------|
| 1 | Keel plate | 1.5 | 140 | 420 | 493.2 | 207144 | 102506420.80 | 343000.00 | 2 | 343000 | 39.375 | 0 | 1.221111 | 343000 |
| 2 | Bottom plate | 1.5 | 150 | 450 | 523.2 | 235440 | 123604083.00 | 421875.00 | 2 | 421875 | 42.1875 | 0 | 1.395556 | 421875 |
| 3 | Side shell 3 | 1 | 180 | 360 | 553.2 | 199152 | 14787.13 | 486000.00 | 2 | 486000 | 15 | 0 | 1.395556 | 486000 |
| | Side shell 4 | 1 | 180 | 360 | 603.2 | 217152 | 57058.07 | 486000.00 | 2 | 486000 | 15 | 0 | 1.221111 | 486000 |
| | Side shell 5 | 1 | 150 | 300 | 698.2 | 209460 | 116335.60 | 281250.00 | 2 | 281250 | 12.5 | 0 | 0.872222 | 281250 |
| | Side shell 6 | 1 | 150 | 300 | 803.2 | 240960 | 211005.27 | 281250.00 | 2 | 281250 | 12.5 | 0 | 0.523333 | 281250 |
| 4 | Center Girder | 1 | 180 | 180 | 558.2 | 100476 | 56085703.20 | 486000.00 | 1 | | | | | |
| 5 | Plat Form | 1 | 615 | 1230 | 648.2 | 797286 | 516800785.20 | 38768062.50 | 2 | 19384031 | 51.25 | 0 | 0.087222 | 19384031 |
| 6 | Upp. Deck | 796.8 | 0.8 | 1274.88 | 878.2 | 1119599.62 | 983232382.77 | 67.99 | 2 | | | | | |
| 7 | Long. Bhd. | 0.8 | 230 | 368 | 763.2 | 280857.6 | 214350520.32 | 1622266.67 | 2 | | | | | |
| 8 | Long. Frame/side | | | | | | | | | | | | | |
| 8.1 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 891.95 | 22298.75 | 19899370.06 | 325.52 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 885.2 | 13278 | 11753685.60 | 1.25 | 2 | | | | | |
| 8.2 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 891.95 | 22298.75 | 19899370.06 | 325.52 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 885.2 | 13278 | 11753685.60 | 1.25 | 2 | | | | | |
| 8.3 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 988.95 | 22173.75 | 19667007.56 | 325.52 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 880.2 | 13203 | 11621280.60 | 1.25 | 2 | | | | | |
| 8.4 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 881.95 | 22048.75 | 19445895.06 | 325.52 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 875.2 | 13128 | 11489625.60 | 1.25 | 2 | | | | | |
| 8.5 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 878.95 | 21923.75 | 19226032.56 | 325.52 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 870.2 | 13053 | 11358720.60 | 1.25 | 2 | | | | | |
| 8.6 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 871.95 | 21798.75 | 19007420.06 | 325.52 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 865.2 | 12978 | 11228565.60 | 1.25 | 2 | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------------|--------|--------------|----------------|-----------------|---|
| 8.7 - Web | 1 | 12.5 | 25 | 866.95 | 21673.75 | 18790057.56 | 325.52 | 2 |
| - face | 7.5 | 1 | 15 | 860.2 | 12903 | 11099160.60 | 1.25 | 2 |
| 8.8 - Web | 1 | 12.5 | 25 | 861.95 | 21548.75 | 18573945.06 | 325.52 | 2 |
| - face | 7.5 | 1 | 15 | 855.2 | 12828 | 10970505.60 | 1.25 | 2 |
| 8.9 - Web | 1 | 12.5 | 25 | 856.95 | 21423.75 | 18359082.56 | 325.52 | 2 |
| - face | 7.5 | 1 | 15 | 850.2 | 12753 | 10842600.60 | 1.25 | 2 |
| 8.10 - Web | 1 | 12.5 | 25 | 851.95 | 21298.75 | 18145470.06 | 325.52 | 2 |
| - face | 7.5 | 1 | 15 | 845.2 | 12678 | 10715445.60 | 1.25 | 2 |
| 8.11 - Web | 1 | 12.5 | 25 | 846.95 | 21173.75 | 17933107.56 | 325.52 | 2 |
| - face | 7.5 | 1 | 15 | 840.2 | 12603 | 10589040.60 | 1.25 | 2 |
| 9 Long Frame/center | | | | | | | | |
| - Web | 0.8 | 40 | 32 | 878.2 | 28102.4 | 24679527.68 | 4266.67 | 1 |
| - face | 12.5 | 1.1 | 13.75 | 857.65 | 11792.6875 | 10113998.43 | 1.39 | 1 |
| | | | 5728.63 | | 4029766.55 | 2364121682.25 | 43183634.69 | |
| | | | ΣF | | $\Sigma F.d$ | $\Sigma F.d^2$ | ΣI_{oo} | |

$$z1 = \Sigma F d / \Sigma F$$

$$= 703.443 \text{ Cm}$$

$$z2 = H - z1 = 157.357 \text{ Cm}$$

$$bxx = \Sigma F d^2 + \Sigma I_{oo} = 2407305317 \text{ Cm}^4$$

$$I_{na} = bxx - \Sigma F z1^2 = 427407080 \text{ Cm}^4 = 4.274070795 \text{ m}^4$$

$$Wb = I_{na}/z2 = 2716168 \text{ Cm}^3 = 2.716167511 \text{ m}^3$$

$$Wd = I_{na}/z1 = 607593 \text{ Cm}^3 = 0.607592769 \text{ m}^3$$

SECTION FRAME- 8 KAPAL TANKER 6500 TON

| No | Nama bagian | lebar (Cm) | tinggi (Cm) | Luas F (Cm ²) | Jarak d (Cm) | Momen Luas F.d (Cm ³) | Momen Inertia F.d ² (Cm ⁴) | Momen Inertia Individu 1/12 b.h ³ (Cm ⁴) | Jumlah | Ix (Cm ⁴) | Iy (Cm ⁴) | Ixy (Cm ⁴) | Sudut pergeseran θ radian | Ix' |
|-----|------------------|---------------|----------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|---------|
| 1 | Keel plate | 1 | 250 | 500 | 520.3 | 260150 | 136658128.33 | 1302083.33 | 2 | 1302083 | 20.8333 | 0 | 1.39556 | 1302083 |
| 2 | Bottom plate | 1 | 250 | 500 | 585.3 | 292650 | 172590128.33 | 1302083.33 | 2 | 1302083 | 20.8333 | 0 | 1.30833 | 1302083 |
| 3 | Side shell | 1 | 140 | 280 | 695.3 | 194684 | 134271.62 | 228666.67 | 2 | 228667 | 11.6667 | 0 | 0.69778 | 228667 |
| | Side shell | 1 | 140 | 280 | 805.3 | 225484 | 171555.47 | 228666.67 | 2 | 228667 | 11.6667 | 0 | 0.52333 | 228667 |
| 4 | Center Girder | 1 | 150 | 150 | 555.5 | 83325 | 46287037.50 | 281250.00 | 1 | | | | | |
| 5 | Plat Form | 699.6 | 1 | 1399.2 | 650.3 | 909899.76 | 591707813.93 | 116.60 | 2 | 58.3 | 2.9E+07 | 0 | 0.08722 | 58.3 |
| 6 | Upp. Deck | 848.9 | 0.8 | 1358.24 | 880.3 | 1195658.7 | 1052538328.96 | 72.44 | 2 | 36.2197 | 4.1E+07 | 0 | 0.08722 | 36.2197 |
| 7 | Long. Bhd. | 0.8 | 230 | 368 | 765.5 | 281704 | 215644412.00 | 1622266.67 | 2 | | | | | |
| 8 | Long. Frame/side | | | | | | | | | | | | | |
| 8.1 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 894.05 | 22351.25 | 19983135.06 | 325.52 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 887.3 | 13309.5 | 11809519.35 | 1.25 | 2 | | | | | |
| 8.2 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 894.05 | 22351.25 | 19983135.06 | 325.52 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 887.3 | 13309.5 | 11809519.35 | 1.25 | 2 | | | | | |
| 8.3 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 889.05 | 22226.25 | 19760247.56 | 325.52 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 882.3 | 13234.5 | 11676799.35 | 1.25 | 2 | | | | | |
| 8.4 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 884.05 | 22101.25 | 19538610.06 | 325.52 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 877.3 | 13159.5 | 11544829.35 | 1.25 | 2 | | | | | |
| 8.5 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 879.05 | 21976.25 | 19318222.56 | 325.52 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 872.3 | 13084.5 | 11413609.35 | 1.25 | 2 | | | | | |
| 8.6 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 874.05 | 21851.25 | 19099085.06 | 325.52 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 867.3 | 13009.5 | 11283139.35 | 1.25 | 2 | | | | | |
| 8.7 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 869.05 | 21726.25 | 18881197.56 | 325.52 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 862.3 | 12934.5 | 11153419.35 | 1.25 | 2 | | | | | |
| 8.8 | - Web | 1 | 12.5 | 25 | 864.05 | 21601.25 | 18664560.06 | 325.52 | 2 | | | | | |
| | - face | 7.5 | 1 | 15 | 857.3 | 12859.5 | 11024449.35 | 1.25 | 2 | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------------|--------|--------------|----------------|-----------------|---|
| 8.9 - Web | 1 | 12.5 | 25 | 859.05 | 21476.25 | 18449172.56 | 325.52 | 2 |
| - face | 7.5 | 1 | 15 | 852.3 | 12784.5 | 10896229.35 | 1.25 | 2 |
| 8.10 - Web | 1 | 12.5 | 25 | 854.05 | 21351.25 | 18235035.06 | 325.52 | 2 |
| - face | 7.5 | 1 | 15 | 847.3 | 12709.5 | 10768759.35 | 1.25 | 2 |
| 8.11 - Web | 1 | 12.5 | 25 | 849.05 | 21226.25 | 18022147.56 | 325.52 | 2 |
| - face | 7.5 | 1 | 15 | 842.3 | 12634.5 | 10642039.35 | 1.25 | 2 |
| 9 Long Frame/center | | | | | | | | |
| - Web | 0.8 | 40 | 32 | 880.3 | 28169.6 | 24797698.88 | 4266.67 | 1 |
| - face | 12.5 | 1.1 | 13.75 | 859.75 | 11821.563 | 10163588.36 | 1.39 | 1 |
| | | | 5321.19 | | 3866814.8 | 2584649824.43 | 4973068.24 | |
| | | | ΣF | | $\Sigma F.d$ | $\Sigma F.d^2$ | ΣI_{oo} | |

$$z1 = \Sigma F.d / \Sigma F$$

$$= 726.682 \text{ Cm}$$

$$z2 = H - z1 = 128.62 \text{ Cm}$$

$$I_{xx} = \Sigma F.d^2 + \Sigma I_{oo} = 2.59E+09 \text{ Cm}^4$$

$$I_{na} = I_{xx} - \Sigma F.z1^2 = 578780519 \text{ Cm}^4 = 5.787805186 \text{ m}^4$$

$$W_b = I_{na}/z2 = 5E+06 \text{ Cm}^3 = 4.50000844 \text{ m}^3$$

$$W_d = I_{na}/z1 = 796470 \text{ Cm}^3 = 0.796469764 \text{ m}^3$$

MODULUS MID SHIP SECTION KAPAL TANKER 6600 TON

| No | Nama bagian | lebar (Cm) | tebal (Cm) | Luas F (Cm ²) | Jarak d (Cm) | Momen Luas F.d (Cm ³) | Momen Inertia F.d ² (Cm ⁴) | Momen Inertia Individu 1/12 b.h ³ (Cm ³) | Jumlah |
|----|-------------------|---------------|---------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1 | Keel plate | 75 | 1.2 | 180 | 0.6 | 108 | 64.8 | 21.6 | 2 |
| 2 | Bottom plate | 865 | 1 | 1730 | 0.5 | 865 | 432.5 | 144.1666667 | 2 |
| 3 | Side shell | 1 | 850 | 1700 | 425 | 722500 | 307062500 | 102354166.7 | 2 |
| 4 | Long. Bhd. plt. | 0.9 | 881.2 | 1586.16 | 440.6 | 698862.096 | 307918639.5 | 102639546.5 | 2 |
| 5 | Upp. Deck | 940 | 0.9 | 1692 | 850.45 | 1438961.4 | 1223764723 | 114.21 | 2 |
| 6 | Bottom long. | 25 | 1.2 | 720 | 12.5 | 9000 | 112500 | 86.4 | 24 |
| 7 | 1. Side long. | 18 | 0.95 | 34.2 | 100.475 | 3436.245 | 345256.7164 | 2.572125 | 2 |
| | 2. Side long. | 18 | 0.95 | 34.2 | 167.475 | 5727.645 | 959237.3464 | 2.572125 | 2 |
| | 3. Side long. | 18 | 0.95 | 34.2 | 234.475 | 8019.045 | 1880265.576 | 2.572125 | 2 |
| | 4. Side long. | 18 | 0.95 | 34.2 | 301.475 | 10310.445 | 3108341.406 | 2.572125 | 2 |
| | 5. Side long. | 18 | 0.95 | 34.2 | 368.475 | 12601.845 | 4643464.836 | 2.572125 | 2 |
| | 6. Side long. | 18 | 0.95 | 34.2 | 435.475 | 14893.245 | 6485635.866 | 2.572125 | 2 |
| | 7. Side long. | 18 | 0.95 | 34.2 | 502.475 | 17184.645 | 8634854.496 | 2.572125 | 2 |
| | 8. Side long. | 18 | 0.95 | 34.2 | 569.475 | 19476.045 | 11091120.73 | 2.572125 | 2 |
| | 9. Side long. | 18 | 0.95 | 34.2 | 636.475 | 21767.445 | 13854434.56 | 2.572125 | 2 |
| | 10. Side long. | 18 | 0.95 | 34.2 | 703.475 | 24058.845 | 16924795.99 | 2.572125 | 2 |
| | 11. Side long. | 18 | 0.95 | 34.2 | 770.475 | 26350.245 | 20302205.02 | 2.572125 | 2 |
| 8 | 1. Long Bhd. pl. | 18 | 0.95 | 34.2 | 100.475 | 3436.245 | 345256.7164 | 2.572125 | 2 |
| | 2. Long Bhd. pl. | 18 | 0.95 | 34.2 | 167.475 | 5727.645 | 959237.3464 | 2.572125 | 2 |
| | 3. Long Bhd. pl. | 18 | 0.95 | 34.2 | 234.475 | 8019.045 | 1880265.576 | 2.572125 | 2 |
| | 4. Long Bhd. pl. | 18 | 0.95 | 34.2 | 301.475 | 10310.445 | 3108341.406 | 2.572125 | 2 |
| | 5. Long Bhd. pl. | 18 | 0.95 | 34.2 | 368.475 | 12601.845 | 4643464.836 | 2.572125 | 2 |
| | 6. Long Bhd. pl. | 18 | 0.95 | 34.2 | 435.475 | 14893.245 | 6485635.866 | 2.572125 | 2 |
| | 7. Long Bhd. pl. | 18 | 0.95 | 34.2 | 502.475 | 17184.645 | 8634854.496 | 2.572125 | 2 |
| | 8. Long Bhd. pl. | 18 | 0.95 | 34.2 | 569.475 | 19476.045 | 11091120.73 | 2.572125 | 2 |
| | 9. Long Bhd. pl. | 18 | 0.95 | 34.2 | 636.475 | 21767.445 | 13854434.56 | 2.572125 | 2 |
| | 10. Long Bhd. pl. | 18 | 0.95 | 34.2 | 703.475 | 24058.845 | 16924795.99 | 2.572125 | 2 |
| | 11. Long Bhd. pl. | 18 | 0.95 | 34.2 | 770.475 | 26350.245 | 20302205.02 | 2.572125 | 2 |
| | 12. Long Bhd. pl. | 18 | 0.95 | 34.2 | 837.475 | 28641.645 | 23986661.65 | 2.572125 | 2 |

| | | | | | | | | | |
|----|---------------|-----|------|------|------|---------|------------|-------------|---|
| 9 | 1. deck long | 18 | 0.95 | 34.2 | 841 | 28762.2 | 24189010.2 | 923.4 | 2 |
| | 2. deck long | 18 | 0.95 | 34.2 | 841 | 28762.2 | 24189010.2 | 923.4 | 2 |
| | 3. deck long | 18 | 0.95 | 34.2 | 841 | 28762.2 | 24189010.2 | 923.4 | 2 |
| | 4. deck long | 18 | 0.95 | 34.2 | 841 | 28762.2 | 24189010.2 | 923.4 | 2 |
| | 5. deck long | 18 | 0.95 | 34.2 | 841 | 28762.2 | 24189010.2 | 923.4 | 2 |
| | 6. deck long | 18 | 0.95 | 34.2 | 841 | 28762.2 | 24189010.2 | 923.4 | 2 |
| | 7. deck long | 18 | 0.95 | 34.2 | 841 | 28762.2 | 24189010.2 | 923.4 | 2 |
| | 8. deck long | 18 | 0.95 | 34.2 | 841 | 28762.2 | 24189010.2 | 923.4 | 2 |
| | 9. deck long | 18 | 0.95 | 34.2 | 841 | 28762.2 | 24189010.2 | 923.4 | 2 |
| | 10. deck long | 18 | 0.95 | 34.2 | 841 | 28762.2 | 24189010.2 | 923.4 | 2 |
| | 11. deck long | 18 | 0.95 | 34.2 | 841 | 28762.2 | 24189010.2 | 923.4 | 2 |
| | 12. deck long | 18 | 0.95 | 34.2 | 841 | 28762.2 | 24189010.2 | 923.4 | 2 |
| | 13. deck long | 18 | 0.95 | 17.1 | 841 | 14381.1 | 12094505.1 | 461.7 | 1 |
| 10 | Center Girder | | | | | | | | |
| | web | 25 | 2 | 50 | 61 | 3050 | 186050 | 16.66666667 | 1 |
| | face plate | 60 | 2 | 120 | 30 | 3600 | 108000 | 36000 | 1 |
| 11 | Bilge keel | | | | | | | | |
| | web | 25 | 1.2 | 30 | 12.5 | 375 | 4687.5 | 3125 | 2 |
| | face plate | 7.5 | 1 | 7.5 | 0.5 | 3.75 | 1.875 | 1.25 | 2 |

9029.76

ΣF

3593145.78

$\Sigma F.d$

2341966113

$\Sigma F.d^2$

205044824.1

ΣI_{oo}

$$z1 = \Sigma F.d / \Sigma F$$

$$= 397.9226 \text{ Cm}$$

$$z2 = H - z1 = 452.077 \text{ Cm}$$

$$I_{xx} = \Sigma F.d^2 + \Sigma I_{oo} = 2547010937 \text{ Cm}^4$$

$$I_{na} = I_{xx} - \Sigma F.z1^2 = 1117216944 \text{ Cm}^4 = 11.17216944 \text{ m}^4$$

$$W_b = I_{na}/z2 = 2471296 \text{ Cm}^3 = 2.471295845 \text{ m}^3$$

$$W_d = I_{na}/z1 = 2807624 \text{ Cm}^3 = 2.807623595 \text{ m}^3$$

SECTION FRAME- 77 KAPAL TANKER 6500 TON

| No | Nama bagian | lebar (Cm) | tinggi (Cm) | Luas F (Cm ²) | Jarak d (Cm) | Momen Luas F.d (Cm ³) | Momen Inertia F.d ² (Cm ⁴) | Momen Inertia Individu 1/12 b.h ³ (Cm ⁴) | Jumlah | Ix (Cm ⁴) | Iy (Cm ⁴) | Ixy (Cm ⁴) | Sudut pergeseran e radian | Ix' |
|----|-------------------------|---------------|----------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------|
| 1 | Keel plate | 1.2 | 210 | 504 | 20 | 10080 | 1127700.00 | 926100.00 | 2 | 926100 | 30.24 | 0 | 1.221111 | 926100 |
| 2 | Bottom plate | 1 | 160 | 320 | 85 | 27200 | 2853333.33 | 341333.33 | 2 | 341333.3 | 13.33333 | 0 | 0.687778 | 341333.3 |
| 3 | Side shell 3 | 1 | 110 | 220 | 245 | 53900 | 97955.57 | 110916.67 | 2 | 110916.7 | 9.166667 | 0 | 0.348889 | 110916.7 |
| | Side shell 4 | 1 | 160 | 320 | 380 | 121600 | 338743.25 | 341333.33 | 2 | 341333.3 | 13.33333 | 0 | 0.087222 | 341333.3 |
| | Side shell 5 | 1 | 190 | 380 | 550 | 209000 | 567246.03 | 571583.33 | 2 | 571583.3 | 15.83333 | 0 | 0.087222 | 571583.3 |
| | Side shell 6 | 1 | 120 | 240 | 700 | 168000 | 127172.74 | 144000.00 | 2 | 144000 | 10 | 0 | 0.348889 | 144000 |
| | Side shell 7 | 1 | 150 | 300 | 820 | 246000 | 211005.27 | 281250.00 | 2 | 281250 | 12.5 | 0 | 0.523333 | 281250 |
| 4 | Center Girder | 1.1 | 175 | 192.5 | 87.5 | 16843.75 | 1473828.13 | 491278.04 | 1 | | | | | |
| 5 | Upp. Deck | 300 | 0.8 | 480 | 900 | 432000 | 388800000.00 | 12.80 | 2 | 12.8 | 1800000 | 0 | 0.087222 | 12.8 |
| 6 | No1 pant. ST | 375 | 0.8 | 300 | 630 | 189000 | 119070000.00 | 16.00 | 1 | | | | | |
| 7 | No2. pant. ST | 350 | 0.8 | 280 | 430 | 120400 | 51772000.00 | 14.93 | 1 | | | | | |
| 8 | No3. pant. ST | 290 | 0.8 | 232 | 180 | 41760 | 7516800.00 | 12.37 | 1 | | | | | |
| 9 | Long. Bhd side | 1.2 | 500 | 1200 | 550 | 660000 | 363000000.00 | 25000000.00 | 2 | | | | | |
| 10 | Long. Bhd center | 0.8 | 500 | 400 | 550 | 220000 | 121000000.00 | 8333333.33 | 1 | | | | | |
| 11 | Long. pant. St 2/side | | | | | | | | | | | | | |
| | - Web | 0.8 | 40 | 64 | 410 | 26240 | 10758400.00 | 8533.33 | 2 | | | | | |
| | - face | 10 | 0.9 | 18 | 390 | 7020 | 2737900.00 | 1.22 | 2 | | | | | |
| 12 | Long. pant. St 2/center | | | | | | | | | | | | | |
| | - Web | 0.8 | 40 | 32 | 410 | 13120 | 5379200.00 | 4266.67 | 1 | | | | | |
| | - face | 10 | 0.9 | 9 | 390 | 3510 | 1368900.00 | 0.61 | 1 | | | | | |
| 13 | Long. pant. St 1/side | 0.8 | 85 | 208 | 610 | 126880 | 77396800.00 | 73233.33 | 4 | | | | | |
| | | | | 5699.5 | | 2692553.75 | 1155396884 | 36627217.3 | | | | | | |
| | | | | Σ F | | Σ F.d | Σ F.d ² | Σ I _{oo} | | | | | | |

$$z1 = \Sigma F.d / \Sigma F$$

$$= 472.419 \text{ Cm}$$

$$z2 = H - z1 = 402.58 \text{ Cm}$$

$$bx = \Sigma F.d^2 + \Sigma I_{oo} = 1192024102 \text{ Cm}^4$$

$$I_{na} = bx - \Sigma F.z2^2 = 722017543 \text{ Cm}^4 = 7.220175429 \text{ m}^4$$

$$Wb = I_{na}/z2 = 2E+06 \text{ Cm}^3 = 1.79347278 \text{ m}^3$$

$$Wd = I_{na}/z1 = 2E+06 \text{ Cm}^3 = 1.528340515 \text{ m}^3$$

SECTION FRAME- 83 KAPAL TANKER 6500 TON

| No | Nama bagian | lebar (Cm) | tebal (Cm) | Luas F (Cm ²) | Jarak d (Cm) | Momen Luas F.d (Cm ³) | Momen Inertia F.d ² (Cm ⁴) | Momen Inertia Individu 1/12 b.h ³ (Cm ⁴) | Jumlah | Ix (Cm ⁴) | Iy (Cm ⁴) | Ixy (Cm ⁴) | Sudut pergeseran θ radian | Ix' |
|----|-----------------|---------------|---------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------|
| 1 | Part.St no-1 | 0.8 | 140 | 224 | 630 | 141120 | 89088533.33 | 182933.33 | 2 | 182933.3 | 5.973333 | 0 | 0.087222 | 182933.3 |
| 2 | Part.St no-2 | 0.8 | 130 | 208 | 430 | 89440 | 38459200 | 292933.3333 | 2 | | | | | |
| 3 | Part.St no-3 | 0.8 | 110 | 176 | 180 | 31680 | 5702400 | 177466.6667 | 2 | | | | | |
| 4 | Upp Deck | 0.8 | 265 | 424 | 880 | 373120 | 328345600 | 2481283.333 | 2 | | | | | |
| 5 | Center girder | 165 | 1.1 | 181.5 | 825 | 149737.5 | 123533437.5 | 18.30125 | 1 | | | | | |
| 6 | Long Deck | | | | | | | | | | | | | |
| | - Web | 40 | 0.8 | 32 | 870 | 27840 | 24220800 | 1.706666667 | 1 | | | | | |
| | - Face | 0.9 | 10 | 9 | 850 | 7650 | 6502500 | 75 | 1 | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Shell plate - 1 | 40 | 1.3 | 104 | 10 | 1040 | 10407.32 | 7.32 | 2 | 7.323333 | 6933.333 | 0 | 0.872222 | 7.323333 |
| 7 | Shell plate - 2 | 120 | 1 | 240 | 75 | 18000 | 1350010.00 | 10.00 | 2 | 10 | 144000 | 0 | 0.523333 | 10 |
| 7 | Shell plate - 3 | 70 | 1 | 140 | 155 | 21700 | 3363505.83 | 5.83 | 2 | 5.833333 | 28583.33 | 0 | 0.261667 | 5.833333 |
| 7 | Shell plate - 4 | 160 | 1 | 320 | 270 | 86400 | 23328013.33 | 13.33 | 2 | 13.33333 | 341333.3 | 0 | 0.174444 | 13.33333 |
| 8 | Shell plate - 5 | 150 | 1 | 300 | 425 | 127500 | 54187512.50 | 12.50 | 2 | 12.5 | 281250 | 0 | 0 | 12.5 |
| 8 | Shell plate - 6 | 140 | 1 | 280 | 575 | 161000 | 92575011.67 | 11.67 | 2 | 11.66667 | 228666.7 | 0 | 0.087222 | 11.66667 |
| 8 | Shell plate - 7 | 130 | 1 | 260 | 705 | 183300 | 129226510.83 | 10.83 | 2 | 10.83333 | 183083.3 | 0 | 0.348889 | 10.83333 |
| 8 | Shell plate - 8 | 180 | 1 | 360 | 835 | 300600 | 251001015.00 | 15.00 | 2 | 15 | 486000 | 0 | 0.610556 | 15 |
| | | | | 3258.5 | | 1720127.5 | 1170894457 | 3134798.165 | | | | | | |
| | | | | Σ F | | Σ F.d | Σ F.d ² | Σ I _{oo} | | | | | | |

$$z1 = \Sigma F.d / \Sigma F$$

$$= 527.889 \text{ Cm}$$

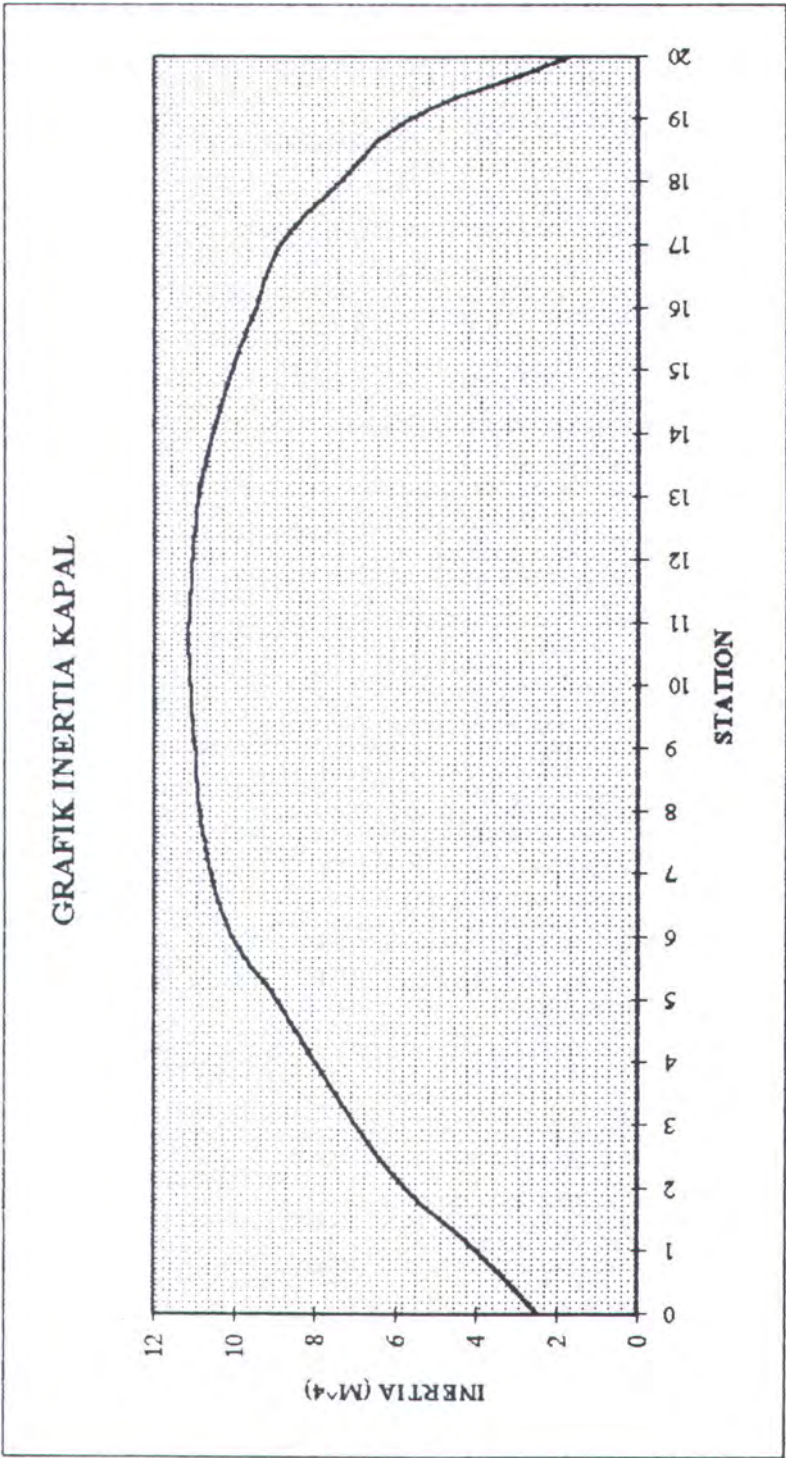
$$z2 = H - z1 = 352.111 \text{ Cm}$$

$$I_{xx} = \Sigma F.d^2 + \Sigma I_{oo} = 1174029255 \text{ Cm}^4$$

$$I_{na} = I_{xx} - \Sigma F.z1^2 = 265992240 \text{ Cm}^4 = 2.659922396 \text{ m}^4$$

$$W_b = I_{na}/z2 = 755422 \text{ Cm}^3 = 0.755422342 \text{ m}^3$$

$$W_d = I_{na}/z1 = 503879 \text{ Cm}^3 = 0.503878761 \text{ m}^3$$



| STATION | INERTIA (M ⁴) |
|---------|------------------------------|
| 1 | 2.5 |
| 2 | 4.0 |
| 3 | 5.8 |
| 4 | 7.0 |
| 5 | 8.0 |
| 6 | 9.0 |
| 7 | 10.1 |
| 8 | 10.6 |
| 9 | 10.9 |
| 10 | 11.0 |
| 11 | 11.1 |
| 12 | 11.2 |
| 13 | 11.1 |
| 14 | 10.9 |
| 15 | 10.6 |
| 16 | 10.1 |
| 17 | 9.5 |
| 18 | 8.9 |
| 19 | 7.4 |
| 20 | 5.7 |

| LIGHT WEIGHT ITEM | WEIGHT LONGITUDINAL MID-G | |
|--------------------------------------|---------------------------|-------|
| | (TON) | (M) |
| 1. HULL CONSRTUCTION | 2560.00 | 0.27 |
| 2. PAINTING AND CORROSION PROTECTION | 24.00 | 0.13 |
| 3. HULL OUTFITTING | 694.00 | -2.11 |
| 4. MACHINERY | 105.00 | -4.98 |
| 5. ELECTRIC OUTFITTING | -26.80 | 4.66 |
| LIGHT WEIGHT | 3467.20 | -0.29 |
| CONSUMABLES | | |
| F.O.T | 47.00 | 18 |
| F..SERV.T | 4.00 | -10.8 |
| F.W.T. | 58.00 | 18 |
| S.W.T | 8.00 | -13.2 |
| F.O.HOLD.T. | 61.00 | 27 |
| L.O.T. | 17.00 | 32.4 |
| EQUIPMENT SUPLIED BY OWNER | 10.00 | 0 |
| OTHER CONSUMABLES | 20 | 0 |
| | 225.00 | 17.51 |
| LIGHT DISPLACEMENT | 3650.00 | 0.76 |

1. HULL CONSRTUCTION

| ITEM | WEIGHT (TON) | LONGITUDINAL MID-G (M) | |
|-----------------------------------------------|-----------------|---------------------------|------|
| A. Longitudinal Member : | | | |
| BOTTOM PLATE | 243.3 | 0.00 | |
| BOTTOM LONGL. GIRDER | 25 | 0.00 | |
| PONTON DECK PLATE | 288.1 | 0.00 | |
| GIRDER IN PONTON | 25 | 0.00 | |
| LONGL. BHD. AT CENTER LINE | 80.5 | 0.00 | |
| SWASH BHD. AT CENTER LINE | 44.8 | 0.00 | |
| INSIDE PLATE OF SIDE WALL | 323.5 | 0.00 | |
| OUTSIDE PLATE OF SIDE WALL | 329.8 | 0.00 | |
| SAFETY DECK PLATE | 75 | 0.00 | |
| TOP DECK PLATE | 114.9 | 0.00 | |
| | 1549.9 | | 0 |
| B. Tranverse Member : | | | |
| AT FORE AND AFT ENDS | 31.1 | 0.00 | |
| AT FR. 4 | 14.5 | 52.80 | |
| AT FR. 10 | 14.5 | 38.40 | |
| AT FR. 20 | 14.5 | 14.40 | |
| AT FR. 30 | 14.5 | -9.60 | |
| AT FR. 32 | 14.5 | -14.40 | |
| AT FR. 42 | 14.5 | -38.40 | |
| SWASH BULKHEADS | 103.0 | 0.00 | |
| Trans. Web Frames : | | | |
| IN PONTON | 376.5 | -0.01 | |
| IN SIDE WALL | 87.9 | -0.03 | |
| ON SAFETY DECK | 33.2 | -0.03 | |
| | 718.7 | | 0.86 |
| C. OTHERS : | | | |
| FORE AND AFT PLATFORM | 41.9 | 0.00 | |
| FUEL OIL TANK | 4.8 | 18.34 | |
| TANKS AT STB 'D' SIDE | 12.1 | 25.12 | |
| OTHER TANKS | 3.5 | -9.61 | |
| BALLEE PORTS | 3.5 | 1.20 | |
| MOTOR ROOM | 2.4 | -12.00 | |
| CONTROL ROOM | 8.6 | -27.60 | |
| COMPANION WAY | 12.0 | 0.00 | |
| FOUNDATION FOR CRANE RAIL | 72.4 | 0.00 | |
| RAILS & FOUNDATION FOR DOCK ARMS | 27.1 | 0.00 | |
| RAILS & FOUNDATION FOR MOORING TROLLY | 13.0 | 0.00 | |
| REINFORCEMENT OF UNDER DECK FOR CRANE RAILS | 3.0 | 0.00 | |
| REINFORCEMENT BESIDE WALLS FOR DOCK ARM RAILS | 3.0 | 0.00 | |
| FOUNDATION OF ALL MACHINERY & EQUIPMENT | 9.5 | -4.95 | |
| | 216.6 | | 0.21 |

2. PAINTING AND CORROSION PROTECTION

| ITEM | WEIGHT (TON) | LONGITUDINAL MID-G (M) |
|-------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| A. Exterior Pianting : | | |
| BOTTOM ZONE | 3.9 | 0.00 |
| TOPSIDE ZONE | 4.5 | 0.00 |
| WEATHER DECK | 2.0 | 0.00 |
| EXTERIOR OF DECK HOUSE | 0.1 | 0.00 |
| B. Interior Painting : | | |
| SAFETY DECK PAINTING | 1.6 | 0.00 |
| INTERIOR OF DECK HOUSE | 0.1 | 0.00 |
| PUMP ROOM | 0.3 | 0.00 |
| C. Painting For Outfitting : | | |
| HULL OUT FITTING | 0.9 | 0.00 |
| MACHINERY OUT FITTING | 0.7 | 0.00 |
| D. Painting For Tanks : | | |
| WATER BALLAST TANK | 4.2 | 0.00 |
| OIL TANKS | 0.1 | 0.00 |
| OTHER SMALL TANKS | 0.1 | 0.00 |
| E. Corrosion Protection : | | |
| IMPRESSED CURRENT SYSTEM | 2.1 | 0.00 |
| CATHODIC PROTECTION IN TANKS | 3.0 | 1.00 |
| Total | 24 | |

3. HULL OUTFITTING

| ITEM | WEIGHT (TON) | LONGITUDINAL MID-G (M) |
|-------------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| A. Deck Machinery : | | |
| CAPSTAN (4 SET) | 8.2 | 0.00 |
| DO. (2 SETS) | 4.1 | -1.20 |
| TRAVELLING CRANE (2 SETS) | 185.0 | 0.00 |
| CRANE RAILS | 25.0 | 0.00 |
| SAFETY DEVICE AND OTHERS | 13.5 | 0.00 |
| TRAVEL DOCK ARM (2 SETS) | 41.3 | 0.00 |
| B. Mooring Fitting and Equipment : | | |
| MOORING FITTINGS | 0.0 | 0.00 |
| ANCHOR (4 SETS) IN WATER | 8.7 | 0.00 |
| CHAIN CABLES (2/3 X W) | 2.0 | 0.00 |
| ANCHOR STOPPERS | 23.9 | 0.00 |
| FITTINGS FOR DOLPHIN | 2.0 | 0.00 |
| OTHERS | 6.7 | -14.40 |
| C. Joiner Lining : | | |

Lining and ceiling insulation, deck composition and flooring cement and tile

D. Accommodation Equipment :

| | | |
|------------------------------------------------|------|--------|
| FURNITURE AND EQUIPMENTS IN ACCOM. SPACE NATUR | 12.3 | -14.40 |
|------------------------------------------------|------|--------|

E. Pipings :

| | | |
|----------------------------------------|------|--------|
| FLOODING AND DEBALLASTING SYSTEM | 65.6 | -4.85 |
| FIRE MAN SYSTEM | 9.5 | 0.00 |
| BILGE AND FUEL OIL SYSTEM | 0.5 | -4.50 |
| VALVE CONTROL SYSTEM | 1.5 | -4.85 |
| WATER SUPPLY SYSTEM FOR ACCOM. SPACE | 2.3 | -14.40 |
| DRAINAGE SYSTEM IN ACCOM | 1.5 | -14.40 |
| AIR AND SOUNDING SYSTEM | 39.4 | 0.00 |
| OXYGEN AND ACETYLENE GAS SYSTEM | 1.8 | 0.00 |
| COMPRESSED AIR SYSTEM | 7.0 | 0.00 |
| FRESH WATER SYSTEM FOR GENERAL SERVICE | 3.3 | 0.00 |
| STEAM PIPE FOR CLEANING PURPOSE | 1.5 | 0.00 |

F. Operation and Control Instruments :

| | | |
|-----------------------------|-----|-------|
| CONTROL CONSOLE | 0.5 | -4.80 |
| TANK LEVEL AND GAUGE SYSTEM | 0.3 | -4.80 |
| DRAFT GAUGE SYSTEM | 0.4 | -4.80 |
| OTHERS | 0.1 | -4.80 |

G. Fire Fighting :

| | | |
|----------------------------|-----|------|
| HYDRANT, HOSE, NOZZLE | 0.4 | 0.00 |
| PORTABLE FIRE EXTINGUISHER | 0.8 | 0.00 |
| OTHERS | 0.3 | 0.00 |

H. Hull Fittings :

| | | |
|------------------------------------------------|------|--------|
| GUIDE ROLLER, TROLLEY WITH SHEAVE | 2.8 | 0.00 |
| SNAP SHACKLES, EYES, CENTERING & HOULING WIRES | 2.4 | 0.00 |
| FITTINGS FOR SHIFTING DEVICE OF BILGE BLOCK | 17.3 | 0.00 |
| KEEL BLOCK | 82.4 | 0.00 |
| BILGE BLOCK | 48.0 | 0.00 |
| SIDE SHORE | 9.6 | 0.00 |
| WOODEN FENDER | 9.8 | 0.00 |
| ROLLER FENDERS | 2.4 | -62.80 |
| SWING BRIDGE | 9.8 | -65.70 |
| BOLTED COVERS | 0.6 | 0.00 |
| SMALL HATCHES | 0.4 | 0.00 |
| MANHOLES | 1.7 | 0.00 |
| STEEL DOORS | 1.4 | 0.00 |
| HAND RAILS | 5.4 | 0.00 |
| STEEL LADDERS | 10.6 | 0.00 |
| WALKWAYS | 6.5 | 0.00 |
| ELECTRIC WELDER WITH WELDING CABLE | 3.7 | 0.00 |
| OTHERS | 3.5 | 0.00 |

Total 694

4. MACHINERY

| ITEM | WEIGHT (TON) | LONGITUDINAL MID-G (M) |
|------------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| A. Machineries and Equipment : | | |
| MAIN GENERATOR SET | 21.0 | 8.40 |
| EMERG. GENERATOR SET | 3.8 | -7.10 |
| START AIR COMPRESSOR | 0.7 | 10.50 |
| WORK AIR COMPRESSOR | 3.6 | 1.40 |
| START AIR RESERVOIR | 1.3 | 8.10 |
| WORK AIR RESERVOIR | 0.8 | -1.10 |
| AUX. AIR RESERVOIR | 0.1 | -5.90 |
| BALLAST PUMP | 16.8 | -12.00 |
| FIRE AND G.S. PUMP | 1.2 | -13.10 |
| VACUUM PUMP | 1.4 | -10.70 |
| COOL S.W. PUMP | 0.5 | -13.80 |
| F.W. HYD. UNIT | 0.7 | -10.80 |
| S.W. HYD. UNIT | 0.5 | -13.80 |
| F.O. TRANSFER PUMP | 0.1 | -10.70 |
| BILGE PUMP | 0.2 | -13.80 |
| BILGE SEPARATOR | 0.4 | -13.50 |
| SEAWAGE DISCHARGE PUMP | 0.2 | -13.20 |
| VENT. FAN (MACH. SPACE) | 0.4 | 12.75 |
| VENT. FAN (PUMP RM) | 0.4 | -13.80 |
| F.O. SERVICE TANK | 0.8 | -10.80 |
| L.O. STORAGE TANK | 0.5 | 4.05 |
| S.W. TANK | 1.0 | -13.20 |
| BILGE TANK | 0.8 | -13.20 |
| GRATING IN MACH. SPACE | 5.0 | 0.00 |
| GRATING IN PUMP RM. | 8.0 | -12.00 |
| WORKSHOP AND OTHERS | 3.0 | -12.00 |
| PIPING | 8.0 | -8.00 |
| INSTRUMENT | 0.3 | 0.00 |
| B. Water Oil In Machinery Space : | | |
| MAIN GEN. ENGINE | 2.2 | 8.40 |
| EMERG. GEN. ENGINE | 0.2 | -7.10 |
| BALLAST PUMP | 2.8 | -12.00 |
| OTHER AUX. MACHINERY | 0.3 | -12.00 |
| PIPING | 12.0 | -10.00 |
| L.O. STORAGE TANK | 0.9 | 4.05 |
| BILGE TANK | 5.0 | -13.20 |
| Total | 105 | |

5. ELECTRIC OUTFITTING

| ITEM | WEIGHT (TON) | LONGITUDINAL MID-G (M) |
|------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| DOCK SERVICE SWITCHBOARD | 3.5 | -20.00 |
| EMERGENCY SWITCHBOARD | 1.0 | -24.00 |
| DOCK SERVICE TRANSFORMER | 1.7 | -28.50 |
| BATTERY CHARGER | 0.5 | -37.00 |
| BATTERY | 0.4 | -38.00 |
| SHIP SERVICE SWITCHBOARD | 0.6 | 27.00 |
| SHIP SERVICE TRANSFORMER | 3.0 | 33.00 |
| RECTIFIER | 2.7 | 35.00 |
| ROTARY CONVERTER | 7.5 | 38.00 |
| CABLE AND HANGER | 14.0 | -15.00 |
| DO. | 5.0 | -10.00 |
| DO. | 8.0 | 20.00 |
| LIGHT AND ETC. | 3.0 | -20.00 |
| DO. | 3.0 | 30.00 |
| CONTROL PANEL FOR ROTARY CONVERTER | 3.7 | 32.00 |
| LIGHT AND ETC. | 0.8 | -10.00 |
| STARTER | 2.1 | -25.00 |
| DO. | 0.4 | 31.00 |
| DISTRIBUTION BOARD | 1.0 | -20.00 |
| DO. | 1.0 | 25.00 |
| DO. | 0.4 | -10.00 |
| SHORE CONNECTION BOX | 1.5 | -26.00 |
| DO. | 1.0 | 26.00 |
| Total | 66 | |

```

program baca_record;

uses crt,pare_1;

type
    weight = record
        wdock,badock,bdock,wship,rship,iship,indock : data;
    end;

    file_dock = file of weight;

var ship : weight;
    dock : weight;
    fz : file_dock;
    nbl : integer;
    q : integer;
    lwtship,ballast,lwtdock,reaksiblock,bouyancy,sum,L,spx,total,
    jum_dock : double;

begin
    {-- initiate value for dock properties --}
    clrscr;
    nbl:= 20;
    L:= 100;
    spx:=L/nbl;
    writeln;writeln;writeln;writeln;

    {-- read dock's weight distribution --}
    lwtdock:= 3560;
    for q:= 1 to nbl do {dock.wdock[q]:=lwtdock/(nbl*spx);}
    begin
        dock.wdock[1]:=141.346/(spx) ;
        dock.wdock[2]:=184.952/(spx) ;
        dock.wdock[3]:=159.599/(spx) ;
        dock.wdock[4]:=184.696/(spx);
        dock.wdock[5]:=176.980/(spx);
        dock.wdock[6]:=166.401/(spx);
        dock.wdock[7]:=153.846/(spx);
        dock.wdock[8]:=105.395/(spx);
        dock.wdock[9]:=87.359/(spx) ;
        dock.wdock[10]:=103.774/(spx) ;
        dock.wdock[11]:=241.057/(spx) ;
        dock.wdock[12]:=251.763/(spx) ;
        dock.wdock[13]:=66.942/(spx) ;
        dock.wdock[14]:=308.618/(spx) ;
        dock.wdock[15]:=182.699/(spx);
        dock.wdock[16]:=203.548/(spx);
    end;

```

```

    dock.wdock[17]:=218.544/(spx);
    dock.wdock[18]:=197.919/(spx);
    dock.wdock[19]:=247.862/(spx);
    dock.wdock[20]:=176.700/(spx);
end;
{ begin
    dock.wdock[1]:=218.257/(spx);
    dock.wdock[2]:=192.905/(spx);
    dock.wdock[3]:=218.002/(spx);
    dock.wdock[4]:=210.286/(spx);
    dock.wdock[5]:=178.680/(spx);
    dock.wdock[6]:=206.481/(spx);
    dock.wdock[7]:=158.030/(spx);
    dock.wdock[8]:=90.819/(spx);
    dock.wdock[9]:=107.235/(spx);
    dock.wdock[10]:=244.518/(spx);
    dock.wdock[11]:=255.244/(spx);
    dock.wdock[12]:=70.403/(spx);
    dock.wdock[13]:=250.858/(spx);
    dock.wdock[14]:=124.939/(spx);
    dock.wdock[15]:=180.945/(spx);
    dock.wdock[16]:=176.653/(spx);
    dock.wdock[17]:=156.028/(spx);
    dock.wdock[18]:=205.970/(spx);
    dock.wdock[19]:=134.806/(spx);
    dock.wdock[20]:=178.941/(spx);
end;}
jum_dock:=0.00;
for q:=1 to nbl do jum_dock:=jum_dock+dock.wdock[q]*spx;

{-- read dock's bouyancy distribution --}
bouyancy:= 10987;
for q:= 1 to nbl do dock.bdock[q]:= bouyancy/(nbl*spx);

{-- read reaksi block weight distribution --}
reaksiblock:= 2374;
for q:= 1 to nbl do dock.rship[q]:= reaksi block/(nbl*spx);

{-- read dock's ballast distribution --}
ballast := 10987 - jum_dock - reaksi block;
for q:= 1 to nbl do dock.badock[q]:= ballast/(nbl*spx);

{-- read LWT SHIP distribution --}
lwtship := 2374;
clrscr;
{-- read ship weight distribution --}
for q:= 1 to nbl do

```



```
begin
dock.wship[1]:=36.068;
dock.wship[2]:=54.632;
dock.wship[3]:=67.8323;
dock.wship[4]:=75.82277;
dock.wship[5]:=73.9456;
dock.wship[6]:=37.9744;
dock.wship[7]:=7.524;
dock.wship[8]:=15.276;
dock.wship[9]:=7.904;
dock.wship[10]:=7.296;
dock.wship[11]:=7.904;
dock.wship[12]:=7.296;
dock.wship[13]:=7.784;
dock.wship[14]:=7.016;
dock.wship[15]:=7.60945;
dock.wship[16]:=6.6552;
dock.wship[17]:=5.6036;
dock.wship[18]:=5.3778;
dock.wship[19]:=12.15808;
dock.wship[20]:=23.1208;
```

```
{ dock.wship[1]:=125/spx;
dock.wship[2]:=135/spx;
dock.wship[3]:=145/spx;
dock.wship[4]:=154/spx;
dock.wship[5]:=170/spx;
dock.wship[6]:=180/spx;
dock.wship[7]:=170/spx;
dock.wship[8]:=160/spx;
dock.wship[9]:=150/spx;
dock.wship[10]:=140/spx;
dock.wship[11]:=130/spx;
dock.wship[12]:=120/spx;
dock.wship[13]:=105/spx;
dock.wship[14]:=100/spx;
dock.wship[15]:=90/spx;
dock.wship[16]:=80/spx;
dock.wship[17]:=70/spx;
dock.wship[18]:=60/spx;
dock.wship[19]:=50/spx;
dock.wship[20]:=40/spx;}
```

```
sum:=0;
for q:=1 to nbl do sum:= sum + dock.wship[q];
total := sum*spx;
end;
```



```

{inertia dock}
for q:=1 to nbl do dock.indock[q]:=58.0125;

{inertia kapal}
for q:=1 to nbl do dock.iship[q]:=11.00;
{ begin
  dock.iship[1]:=2.5;
  dock.iship[2]:=4;
  dock.iship[3]:=5.8;
  dock.iship[4]:=7;
  dock.iship[5]:=8;
  dock.iship[6]:=9;
  dock.iship[7]:=10.1;
  dock.iship[8]:=10.6;
  dock.iship[9]:=10.9;
  dock.iship[10]:=11;
  dock.iship[11]:=11.1;
  dock.iship[12]:=11.2;
  dock.iship[13]:=11;
  dock.iship[14]:=10.9;
  dock.iship[15]:=10.6;
  dock.iship[16]:=10;
  dock.iship[17]:=9.5;
  dock.iship[18]:=8.9;
  dock.iship[19]:=7.4;
  dock.iship[20]:=5.7;
end;}
clrscr;writeln;
{---- save dock deflection and ship's weight distr. into file..}
assign(fz,'deni.dat');rewrite(fz);
write(fz,dock);close(fz);
if ioresult = 0 then
  begin
    clrscr;
    writeln;
    writeln;
    writeln;
    writeln;
    ding_dong;
    writeln('':15,'File saved succesfully');
  end
else
  begin
    clrscr;
    writeln;writeln;
    write(#7);

```

```
        writeln('Cannot save file');  
    end;  
    repeat until keypressed;  
  
end.
```

```

unit pare_1;
interface
uses crt;
const
max   = 21;
arm   : array[1..20] of real =
(47.5,42.5,37.5,32.5,27.5,22.5,17.5,12.5,7.5,2.5,-2.5,-7.5,-12.5,-17.5,
-22.5,-27.5,-32.5,-37.5,-42.5,-47.5);
stat  : array[1..20] of byte = (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,
16,17,18,19,20);
type
index = 1..max;
data   = array[index] of extended;
matrix = array[index,index] of extended;

procedure ding_dong;
procedure matr_mul(row_x,col_x,col_y:integer;mx,my:matrix; var mz:matrix);
procedure matr_sub(nb:integer;mat1,mat2:matrix; var mat3:matrix);
procedure gauss_elimination(row,col:integer;mx:matrix; var det: double);
procedure matr_invers(row:integer;mx:matrix; var mz:matrix);
procedure stopper(nb:integer,vdel: data; var test:double);
procedure maxmin(ndat:integer;sdat:data; var datr:real;var nux:integer);

```

implementation

```

procedure ding_dong;
begin

end;

procedure matr_mul;
var k,m,n : integer;
begin
  for m:= 1 to row_x do
    for n:= 1 to col_y do
      begin
        mz[m,n]:= 0;
        for k:= 1 to col_x do mz[m,n]:= mz[m,n]+mx[m,k]*my[k,n];
      end;
    end;
  end;

procedure matr_sub;
var k,b : integer;
begin
  for k:= 1 to nb do
    for b:= 1 to nb do mat3[k,b]:= mat1[k,b]-mat2[k,b];
  end;
end;

```

```

procedure gauss_elimination;
var tanda      : integer;
    i,j,k,l,m,n : integer;
    konst       : double;
begin
    tanda:= 1;
    for l:= 2 to row do
    begin
        for m:= 1 to row do
        begin
            k:=l-1;
            if mx[k,k] = 0 then
            begin
                konst:= 0;
                n:= k-1;
                while (konst=0) and (n<= row) do
                begin
                    n:= n+1;
                    konst:= mx[n,k];
                end;
                if konst<> 0 then
                begin
                    tanda:= -tanda;
                    for j:= k to col do
                    begin
                        konst:= mx[k,j];
                        mx[k,j]:= mx[n,j];
                        mx[n,j]:= konst;
                    end;
                end
            else
            begin
                mx[k,k]:= 1;
                tanda:= 0;
            end;
        end;
        konst:= mx[m,k]/mx[k,k];
        for n:= k to col do mx[m,n]:= mx[m,n] - konst*mx[k,n];
        end;
    end;
    det:= tanda;
    for m:= 1 to row do det:= det*mx[m,m];
end;

procedure matr_invers;
var det      : double;

```



```

det_y      : double;
i,j,k,l,m,n,tanda: integer;
dmy        : matrix;
begin
  {-----compute determinan value-----}
  gauss_elimination(row,row,mx,det);
  for i:= 1 to row do
    begin
      for j:= 1 to row do
        begin
          m:= 0;
          for k:= 1 to row do
            begin
              if i<>k then
                begin
                  m:= m+1;
                  n:= 0;
                  for l:= 1 to row do
                    begin
                      if j <> l then
                        begin
                          n:= n+1;
                          dmy[m,n]:= mx[k,l];
                        end;
                      end;
                    end;
                  end;
                end;
              gauss_elimination(row-1,row-1,dmy,det_y);
              if(i+j) mod 2 = 0 then tanda:= 1 else tanda:= -1;
              mz[j,i]:= tanda*det_y/det;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;

  procedure stopper, { termination criteria }
  var nn: integer;
      summ : double;
  begin
    summ:= 0;
    for nn:= 1 to nb do summ:= summ + sqr(vdel[nn]);
    test:= sqrt(summ);
  end;

  procedure maxmin; { return the maximum value from list}
  var ymax,ymin,amin,amax : real;
      ii,minux,maxnux      : integer;
  begin

```

```
ymax:= abs(sdat[1]);
maxnux:= 1;
for ii:= 2 to ndat do
  begin
    if (abs(sdat[ii]) > ymax) then
      begin
        ymax:= sdat[ii];
        maxnux:= ii;
      end;
  end;

amax:= abs(ymax);
datr:= amax ;
nux:= maxnux;
end;
end.
```

```

unit pare_2;

interface
uses crt,pare_1;
procedure loading3(nb:integer;shipw,wedge:data;var load_dat:data);
procedure loading(nb:integer;wd,bad,cor_bod,wedge:data;var load_dat:data);
procedure loading1(nb:integer;ilcg,spx,ls:real;shipw,rb:data;
    var wedge:data);
procedure loading2(nb:integer;wd,bad,bod,wedge:data;dlcg,spx,br,beam:real;
    var cor_bod:data);
procedure spring(nb:integer;ktanta:real;wedge:data; var lentur:data);
procedure shearing(nb:integer;spx:real;load_dat:data; var shear_dat:data);
procedure bending(nb:integer;spx:real;shear_dat:data; var bend_dat:data);
procedure sloping(nb:integer;spx:real;bend_dat:data;ine:data;young:real;
    var slope_dat:data);
procedure curving(nb:integer;spx:real;slope_dat:data; var cfd_dat:data);
procedure dock_cur(nb:integer;wd,bad,bod,wedge:data;dlcg,spx,br,beam:real;
    ine1:data;young1:real; var cfs:data; var cfd:data);
procedure dock_cur2(nb:integer;wd,bad,cor_bod,wedge:data;spx:real;
    ine1:data;young1:real; var cfs:data; var cfd:data);
procedure ship_cur(nb:integer;ilcg,spx,ls:real;shipw,rb,wedge:data;
    ine2:data;young2:real; var cfs:data; var cfd:data);
procedure ship_cur2(nb:integer;shipw,wedge:data;spx:real;ine2:data;young2:real;
    var cfs:data;var cfd:data);
procedure make_mat1(nb:integer;wd,bad,cor_bod,wedge:data;spx:real;
    ine1:data;young1:real;delx:data; var mat1:matrix);
procedure make_mat2(nb:integer;spx:real;ine2:data;young2:real;
    shipw,wedge,delx:data; var mat2:matrix);
procedure mat_maker1(nb:integer;dat1:data; var mat_x1:matrix);
procedure mat_maker2(nb:integer;dat2:data; var mat_x2:matrix);
procedure jacobian(nb:integer;mat1,mat2:matrix;dat1,dat2,delx:data;
    var jac:matrix);

implementation

procedure loading; { load function for dock }
var p: integer;
begin
    for p:= 1 to nb do load_dat[p]:=(cor_bod[p]-(wedge[p]+wd[p]+bad[p]));
end;

procedure loading1; { keel blocks correction for ship }
type ship_data = record
    berat,mmt,qd,qb,lcg,lwt,brt,lwg : real;
end;
var

```

```

p,ns          : integer;
sdt           : ^ship_data;
summ,jumlah,load_tot,
sum_tot,ttk_brt,
jumlah_lwt,ttk_lwt,
momen_lwt,jumlah_abo : real;
axx,bxx,cxx    : real;
beda           : real;
tinggi,abo,abo1,abo2,
momen,ttbrt,lng,dist,
dist1,dist2     : data;
begin
mark(sdt); new(sdt);

{titik berat dari LWT kapal}
sdt^.lwt:= 0.00;
for p:= 1 to nb do sdt^.lwt:= sdt^.lwt + shipw[p];
sdt^.brt:= 0.00;
for p:= 1 to nb do sdt^.brt:= sdt^.brt + (shipw[p]*arm[p]);
sdt^.lwg:= sdt^.brt/sdt^.lwt;

{titik berat dari reaksi keel blocks}
sdt^.berat:= 0.00;
for p:= 1 to nb do sdt^.berat:= sdt^.berat + rb[p];
sdt^.mmt:= 0.00;
for p:= 1 to nb do sdt^.mmt:= sdt^.mmt + (rb[p]*arm[p]);
sdt^.lcg:= sdt^.mmt/sdt^.berat;
beda:= sdt^.lwg-sdt^.lcg;
if (abs(beda))>0.001 then
begin
spx:= ls/nb;
ns:=nb+1;
axx:= ((6*sdt^.berat) * (sdt^.lwg)) / sqr(ls);
sdt^.qd:= ((sdt^.berat)/ls) - axx;
sdt^.qb:= ((sdt^.berat)/ls) + axx;
for p:= 1 to ns do
begin
tinggi[p]:=((ls-(p-1)*spx)/ls)*(sdt^.qb-sdt^.qd)+sdt^.qd;
end;

{ reaksi blocks setelah dikoreksi}
for p:=1 to nb do wedge[p]:=((tinggi[p]+tinggi[p+1])/2)*spx;
load_tot:=0.00;
for p:=1 to nb do load_tot:=load_tot+wedge[p];

{ titik berat reaksi blocks }
for p:=1 to nb do abo1[p]:= tinggi[p+1]*spx;

```



```

    for p:=1 to nb do abo2[p]:=((tinggi[p]-tinggi[p+1])*spx)/2;
    for p:=1 to nb do abo[p]:=abo1[p]+abo2[p];
    for p:=1 to nb do momen[p]:= abo2[p]*(spx/6);
    for p:=1 to nb do ttbrt[p]:= momen[p]/(abo[p]);
    for p:=1 to nb do lng[p]:=arm[p]+ttbrt[p];
    jumlah_abo:=0.00;
    for p:=1 to nb do jumlah_abo:=jumlah_abo+abo[p];
    sum_tot:=0.00;
    for p:=1 to nb do sum_tot:=sum_tot+(abo[p]*lng[p]);
    ttb_brt:=sum_tot/jumlah_abo;

{pemindahan distribusi beban}
for p:=1 to nb-1 do dist1[p]:=wedge[p]*(0.5+((ttbrt[p]+(spx/2))/spx));
    dist1[nb]:=wedge[nb]*(0.5+((spx/2)-ttbrt[nb])/spx);
for p:=1 to nb-1 do dist2[p]:=wedge[p]*(0.5-((ttbrt[p]+(spx/2))/spx));
    dist2[nb]:=wedge[nb]*(0.5-((spx/2)-ttbrt[nb])/spx);
dist[1]:=dist1[1];
for p:=2 to nb-2 do dist[p]:=dist2[p-1]+dist1[p];
    dist[nb-1]:=dist2[nb-2]+dist1[nb-1]+dist2[nb];
    dist[nb]:=dist1[nb]+dist2[nb-1];
jumlah_lwt:=0.00;
for p:=1 to nb do jumlah_lwt:=jumlah_lwt+dist[p];
momen_lwt:=0.00;
for p:=1 to nb do momen_lwt:=momen_lwt + (dist[p]*arm[p]);
ttk_lwt:=momen_lwt/jumlah_lwt;
for p:=1 to nb do wedge[p]:=dist[p];
    end
    else
    begin
        for p:= 1 to nb do wedge[p]:=rb[p];
    end;
dispose(sdt);
end;

procedure loading3; { load function for ship }
var p: integer;
begin
    for p:= 1 to nb do load_dat[p]:= ( wedge[p] - shipw[p] );
end;

procedure loading2; { bouyancy correction for dock }
var p,sign,ns : integer;
    trim_x,wedge1,abot1,abot2,trim,
    abot,momen,ttbrt,lng,distr,
    distr1,distr2 : data;
    lcg,lcb : real;
    t_dt,p_dt : data;

```

```

t_wx,summ,b_tx,m_trim,d_trim,
b_dt,jumlah_baji,jumlah_abot,
jumlah_wedge1,bouyancy,bou,
momen_baji      : real;
axx,bxx          : real;
begin
for p:= 1 to nb do
  p_dt[p]:=((wedge[p]) + (wd[p]+bad[p]));
{ return LCG }
t_wx:= 0.00;

{ iki dirubah... }
for p:= 1 to nb do t_wx:= t_wx + p_dt[p];
for p:= 1 to nb do t_dt[p]:= p_dt[p]*arm[p];
summ:= 0.00;
for p:= 1 to nb do summ:= summ + t_dt[p];
lcg:= summ/t_wx;

{ return trimming moment }
m_trim:= t_wx * lcg;

{ return  $\Delta t$  }
d_trim:= (6 *m_trim)/(1.025*br*sqr(beam));

{ return  $\Delta t$  at any station }
ns:=nb+1;
spx:= beam/nb;
for p:= 1 to ns do trim_x[p]:=((beam*0.5)-(p-1)*spx)/(beam*0.5))*d_trim;

{ return weight of wedge at any station }
for p:= 1 to nb do
  begin
    wedge1[p]:=((trim_x[p]+trim_x[p+1])/2)*spx*br*1.025;
  end;
  jumlah_wedge1:=0.00;
  for p:=1 to nb do jumlah_wedge1:=jumlah_wedge1+wedge1[p];

{ return LCB of corrected bouyancy }
for p:=1 to nb do
  if p<11 then
    begin
      abot1[p]:=(trim_x[p+1]*spx*br*1.025);
      abot2[p]:=(trim_x[p]-trim_x[p+1])*(spx/2)*br*1.025;
    end
  else
    begin
      abot1[p]:=(trim_x[p]*spx*br*1.025);

```

```

    abot2[p]:= (trim_x[p+1]-trim_x[p])*(spx/2)*br*1.025;
  end;
  for p:=1 to nb do abot[p]:=abot1[p]+abot2[p];
jumlah_abot:=0.00;
  for p:=1 to nb do jumlah_abot:=jumlah_abot+abot[p];
  for p:=1 to nb do momen[p]:= abot2[p]*(spx/6);
  for p:=1 to nb do ttbrt[p]:= momen[p]/(abot[p]);
  for p:=1 to nb do
    if p<11 then
      begin
        lng[p]:=arm[p]+ttbrt[p];
      end
    else
      begin
        lng[p]:=arm[p]-ttbrt[p];
      end;
    momen_baji:=0.00;
    for p:=1 to nb do momen_baji:=momen_baji+(abs(abot[p])*lng[p]);
{ ttbrt_baji:=momen_baji/jumlah_abot; }

{koreksi distribusi volume baji}
for p:=1 to 9 do distr1[p]:=abot[p]*(0.5+(((spx/2)+ttbrt[p])/spx));
for p:=1 to 9 do distr2[p]:=abot[p]*(0.5-(((spx/2)+ttbrt[p])/spx));
    distr1[10]:=abot[10]*(0.5+(((spx/2)-ttbrt[10])/spx));
    distr2[10]:=abot[10]*(0.5-(((spx/2)-ttbrt[10])/spx));
for p:=20 downto 12 do distr1[p]:=abot[p]*(0.5+(((spx/2)+ttbrt[p])/spx));
for p:=20 downto 12 do distr2[p]:=abot[p]*(0.5-(((spx/2)+ttbrt[p])/spx));
    distr1[11]:=abot[11]*(0.5+(((spx/2)-ttbrt[11])/spx));
    distr2[11]:=abot[11]*(0.5-(((spx/2)-ttbrt[11])/spx));
distr[1]:=distr1[1];
for p:=2 to 8 do distr[p]:=distr2[p-1]+distr1[p];
    distr[9]:=distr2[8]+distr1[9]+distr2[10];
    distr[10]:=distr2[9]+distr1[10];
distr[20]:=distr1[20];
for p:=19 downto 13 do distr[p]:=distr2[p+1]+distr1[p];
    distr[12]:=distr2[13]+distr1[12]+distr2[11];
    distr[11]:=distr2[12]+distr1[11];

jumlah_baji:=0.00;
for p:=1 to nb do jumlah_baji:=jumlah_baji+distr[p];

  if ( abs(dlcg-lcg) > 0.0001 ) then
    begin
      for p:= 1 to nb do cor_bod[p]:= bod[p]+distr[p];
    end
  else
    begin

```

```

    for p:= 1 to nb do cor_bod[p]:= bod[p];
end;
bouyancy:=0.00;
for p:=1 to 10 do bouyancy:=bouyancy+(distr[p]*arm[p]);
bou:=bouyancy*2;

b_tx := 0.00;
for p:=1 to nb do b_tx:=b_tx+cor_bod[p];
b_dt :=0.00;
for p:=1 to nb do b_dt:=b_dt+(arm[p]*cor_bod[p]);
lcb := b_dt/b_tx;

end;

procedure spring;
var p      : integer;
begin
    for p:= 1 to nb do
        lentur[p]:= wedge[p]/ktanta;
    end;

procedure shearing; { return the shearing forces }
var p,ns    : integer;
    cfl,s_dt : data;
begin
    ns:=nb+1;
    s_dt[1]:=(( load_dat[1]))*spx;
    for p:= 2 to nb do
        s_dt[p]:= s_dt[p-1]+((load_dat[p])*spx);
    for p:= 1 to nb do shear_dat[p]:= s_dt[p];
end;

procedure bending; { return the bending moments }
var p,ns    : integer;
    cfl,s_dt : data;
begin
    ns:=nb+1;
    s_dt[1]:= 0.00+((0.00+shear_dat[1])/2)*spx ;
    for p:= 2 to nb do
        s_dt[p]:= s_dt[p-1]+(((shear_dat[p-1]+shear_dat[p])/2)*spx);

    {for p:= 1 to nb do cfl:=- (stat[p]/nb) * s_dt[nb];}

    for p:= 1 to nb do bend_dat[p]:= s_dt[p];
end;

```



```

procedure sloping; { return the slopes }
var p,nax,ns      : integer;
    cfl,s_dt,m_dt,cfd_dat : data;
    maxm          : real;
begin
    ns:=nb+1;
    for p:= 1 to nb do m_dt[p]:= bend_dat[p]/(ine[p]*young);
    s_dt[1]:= 0.00 + ((0.00 + m_dt[1])/2)*spx;
    for p:= 2 to nb do
        s_dt[p]:= s_dt[p-1]+(((m_dt[p-1]+m_dt[p])/2)*spx);
    for p:= 1 to nb do slope_dat[p]:= s_dt[p];
end;

procedure curving; { return the deflections curve }
var p,ns,nax      : integer;
    cfl,s_dt      : data;
    maxm          : real;
begin
    ns:=nb+1;
    s_dt[1]:= 0.00+((0.00+slope_dat[1])/2)*spx ;
    for p:= 2 to nb do
        s_dt[p]:= s_dt[p-1]+(((slope_dat[p-1]+slope_dat[p])/2)*spx);
    for p:= 1 to nb do cfd_dat[p]:= s_dt[p];

end;

procedure dock_cur; { calculate dock's deflection }
var dat1,dat2,dat3,dat4 : data;
    maxm                : real;
    nax                 : integer;
begin
    loading2(nb,wd,bad,bod,wedge,dlcg,spx,br,beam,dat1);
    loading(nb,wd,bad,dat1,wedge,dat2);
    shearing(nb,spx,dat2,dat3);
    bending (nb,spx,dat3,dat4);
    sloping (nb,spx,dat4,ine1,young1,cfs);
    curving (nb,spx,cfs,cfd);
end;

procedure ship_cur; { calculate ship's deflection }
var dat1,dat2,dat3,dat4 : data;
begin
    loading1(nb,ilcg,spx,ls,shipw,rb,dat1);
    loading3(nb,shipw,dat1,dat2);
    shearing(nb,spx,dat2,dat3);
    bending (nb,spx,dat3,dat4);

```

```

    sloping (nb,spx,dat4,ine2,young2,cfs);
    curving (nb,spx,cfs,cfd);
end;

```

```

procedure dock_cur2; { calculate dock's deflection, no correction }
var dat2,dat3,dat4 : data;
begin
    loading(nb,wd,bad,cor_bod,wedge,dat2);
    shearing(nb,spx,dat2,dat3);
    bending (nb,spx,dat3,dat4);
    sloping (nb,spx,dat4,ine1,young1,cfs);
    curving (nb,spx,cfs,cfd);
end;

```

```

procedure ship_cur2; { calculate ship's deflection , no load correction }
var dat2,dat3,dat4 : data;
begin
    loading3(nb,shipw,wedge,dat2);
    shearing(nb,spx,dat2,dat3);
    bending (nb,spx,dat3,dat4);
    sloping (nb,spx,dat4,ine2,young2,cfs);
    curving (nb,spx,cfs,cfd);
end;

```

```

procedure make_mat1; { perform matrix of  $f(x+\Delta x)$  for dock }
var kol,brs : integer;
    dsp,dcur,
    temp_x : data;
    sum_temp : real;
begin
    for kol:= 1 to nb do temp_x[kol]:= wedge[kol]{-delx[kol]/(nb)};
    for kol:= 1 to nb do
        begin
            temp_x[kol]:= wedge[kol]+delx[kol];
            dock_cur2(nb,wd,bad,cor_bod,temp_x,spx,
                ine1,young1,dsp,dcur);
            for brs:= 1 to nb do
                begin
                    mat1[brs,kol]:= dcur[brs];
                end;
            temp_x[kol]:= wedge[kol]{-delx[kol]/(nb)};
        end;
    end;
end;

```

```

procedure make_mat2; { perform matrix of  $f(x+\Delta x)$  for ship }
var kol,brs : integer;

```

```

    dsp,dcur,
    temp_x : data;
begin
    for kol:= 1 to nb do temp_x[kol]:= wedge[kol]{-delx[kol]/(nb)};
    for kol:= 1 to nb do
        begin
            temp_x[kol]:= wedge[kol]+delx[kol];
            ship_cur2(nb,shipw,temp_x,spx,ine2,young2,
                dsp,dcur);
            for brs:= 1 to nb do
                begin
                    mat2[brs,kol]:= dcur[brs];
                end;
            temp_x[kol]:= wedge[kol]{-delx[kol]/(nb)};
        end;
    end;

procedure mat_maker1; { perform a matrix from array }
var k,b : integer;
begin
    for k:= 1 to nb do
        begin
            for b:= 1 to nb do mat_x1[b,k]:= dat1[b]
            end;
        end;

procedure mat_maker2; { perform a matrix from array }
var k,b : integer;
begin
    for k:= 1 to nb do
        begin
            for b:= 1 to nb do mat_x2[b,k]:= dat2[b]
            end;
        end;

procedure jacobian; { perform matrix of Jacobian }
var k,b : integer;
jac_doc : data;
begin
    for k:= 1 to nb do
        begin
            for b:= 1 to nb do
                jac[b,k]:= ((mat1[b,k]-dat1[b])/delx[b])-((mat2[b,k]-dat2[b])/delx[b]);
            end;
        end;
end.

```

```

{$m 65520,0,655360}
{$n+}
program deflection_calculation;
uses crt,pare_1,pare_2;
const
    top    = 1000;
type
    number = array[1..top] of real;
    angka  = array[1..top] of integer;
    delta  = record
        nilai: number;
        nx   : angka;
        ntop : integer;
    end;
    f_delta = file of delta;
type
    weight = record
        wd_dat,ba_dat,bd_dat,ws_dat,rs_dat,i_dat,in_dat : data;
    end;
    file_data = file of weight;
var
    def_1,def_2,def_blocks,
    defx_1,defx_2,
    slop_1,slop_2,
    slopx1,slopx2,def_3    : data; { vector of deflections and slopes }
    vdelta,xdel,deltax    : data; { vector of differences }
    blocks,temp_blocks,
    selisih,co_bod,
    newblocks,blocks1,
    temp_cobod            : data; { vector of keel block's reactions }
    dock_dat              : weight;
    fz                    : file_data;
    ite_dat               : delta;
    f_ite                 : f_delta;
    jacob,jacob1,
    jacob_inv,
    vfunct,
    mat_a,mat_b,
    mat_c,mat_d,
    mat_e,mat_f           : matrix;
    nkeel,nmx             : integer;
    p,q,s                 : integer;
    r,t                   : integer;
    tester                : double;
    span,spur,
    lwtship,breadth,bm,
    inlcg,lcgdock,

```



```

kblocks      : real;
mdock,mship,
inedock,ineship : real;
sta          : data;
dat1,dat2     : data;
datatext,datatext2 : text;

begin
  clrscr;
  nkeel:= 20; { number of keel blocks }
  bm:= 100.00; breadth:= 26.00;
  inlcg:= 8.5214827296; { lcg of ship }
  lcgdock:= 0.00; { lcg of dock }
  { writeln; writeln;}

  {---- read dock data from file..}
  assign(fz,'deni.dat');reset(fz);
  read(fz,dock_dat);close(fz);
  { read ship data from file }
  assign(fz,'deni.dat');reset(fz);
  read(fz,dock_dat);close(fz);

  { initiate station number }
  spur:=bm/nkeel;
  span:= bm/(nkeel-1);
  mdock:= 2e11; mship:= 2e11;

  { initiate initial keel block's reaction }
  r:= 0;
repeat
  { correction for keelblock reaction due to LCG change }
  if r>0 then for q:=1 to nkeel do dock_dat.rs_dat[q]:=temp_blocks[q];
  loading1(nkeel,inlcg,spur,bm,dock_dat.ws_dat,dock_dat.rs_dat,blocks);
  { if r>0 then for q:=1 to nkeel do blocks[q]:=temp_blocks[q];}
  loading3(nkeel,dock_dat.ws_dat,blocks,blocks1);
  loading2(nkeel,dock_dat.wd_dat,dock_dat.ba_dat,dock_dat.bd_dat,blocks,
    lcgdock,spur,breadth,bm,co_bod);

  t:=t+1;
  for q:= 1 to nkeel do xdel[q]:=(blocks[q])*1.0e-11-(0.0001*(r-1));

  { evaluate dock's deflection and ship's deflection }
  dock_cur(nkeel,dock_dat.wd_dat,dock_dat.ba_dat,co_bod,blocks,
    lcgdock,spur,breadth,bm,dock_dat.in_dat,mdock,slop_1,def_1);
  ship_cur(nkeel,inlcg,spur,bm,dock_dat.ws_dat,dock_dat.rs_dat,blocks,
    dock_dat.i_dat,mship,slop_2,def_2);

```

```

loading(nkeel,dock_dat.wd_dat,dock_dat.ba_dat,co_bod,blocks,blocks1);
dock_cur2(nkeel,dock_dat.wd_dat,dock_dat.ba_dat,co_bod,blocks,
    span,dock_dat.in_dat,mdock,slop_1,def_1);
ship_cur2(nkeel,dock_dat.ws_dat,blocks,
    span,dock_dat.i_dat,mship,slop_2,def_2);

{ evaluate main functions... }
for q:= 1 to nkeel do vfunct[q,1]:=def_1[q]-def_2[q];

{ perform matrix of dock/fship (R+□R) }
make_mat1(nkeel,dock_dat.wd_dat,dock_dat.ba_dat,co_bod,blocks,span,
    dock_dat.in_dat,mdock,xdel,mat_c);
make_mat2(nkeel,span,dock_dat.i_dat,mship,dock_dat.ws_dat,blocks,
    xdel,mat_d);

{ perform matrix of dock (R) }
mat_maker1(nkeel,def_1,mat_a);

{ perform matrix of ship (R) }
mat_maker2(nkeel,def_2,mat_b);

{ perform matrix subtraction }
matr_sub(nkeel,mat_a,mat_b,mat_e);

{ --- perform jacobian matrix --- }
jacobian(nkeel,mat_c,mat_d,def_1,def_2,xdel,jacob);

{--- perform inverse of jacobian ---}
matr_invers(nkeel,jacob,jacob_inv);

{-- perform matrix multiplication --}
matr_mul(nkeel,nkeel,1,jacob_inv,vfunct,jacob1);

{-- perform temporary values for blocks --}
for q:= 1 to nkeel do temp_blocks[q]:= blocks[q];

{-- perform equation 6.50.....this is all about ---}
for q:= 1 to nkeel do blocks[q]:= temp_blocks[q]-(jacob1[q,1]);
lwtship := 0.00;
for q:= 1 to nkeel do lwtship := lwtship + blocks[q];

{-- perform vdelta ---}
for q:= 1 to nkeel do vdelta[q]:= blocks[q] - temp_blocks[q];
for q:= 1 to nkeel do temp_blocks[q]:= blocks[q];

{--- termination criteria ---}

```

```

stopper(nkeel,vdelta,tester);
r:= r+1;
writeln("4,r =",":2,r:3,:5,'Delta    :',":2,abs(tester):20:15);
ite_dat.nx[r]:= r;
ite_dat.nilai[r]:= tester;

until ((abs(tester) <= 0.00000000000001){or (r=5000)});
repeat until keypressed;

if ioresult = 0 then
begin
  clrscr;
  writeln;
  writeln;
  writeln(":15,'File saved succesfully');
end
else
begin
  clrscr;
  writeln;writeln;
  write(#7);
  writeln('Cannot save file');
end;
repeat until keypressed;

{--- display the results ----}
for p:= 1 to nkeel do
writeln("5,'Keel block reaction at sta -',":2,p:3,"2,
      blocks[p]:20:15,"2,'[t/m]');
writeln("5,'Calculation terminated after ':":2,r,"2,'iterations');
writeln("5,'Delta when terminated    ':":2,tester:20:15);
writeln("5,'Total keel block reactions ':":2,lwtship:10:8);
repeat until readkey = #27;

{-- perform vdelta ---}
for p:= 1 to nkeel do vdelta[p]:=abs(def_1[p] - def_2[p]);
clrscr;
writeln;
writeln("5,'Station',":5,'Dock deflection ',":5,'Ship deflection',":5,'Delta');
writeln;
for p:= 1 to nkeel do
begin
write("5,p:length('Station'),":5,def_1[p]:15); write("5,def_2[p]:15);
writeln("5,vdelta[p]:15);
end;
repeat until readkey =#27;

```

```
clrscr;  
writeln(":5,'co_bod',":5);  
for p:= 1 to nkeel do  
begin  
  writeln(":5,co_bod[p]:20:15);  
end;  
repeat until keypressed;  
end.
```